

# **AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE UMA PEÇA AUTOMOTIVA**

**VICTOR VIEIRA QUEIROZ**

Orientador: Prof. Sebastião Roberto Soares

2011/2





Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC  
Centro Tecnológico – CTC  
Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental – ENS

**AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA  
DE UMA PEÇA AUTOMOTIVA**

Trabalho apresentado à Universidade  
Federal de Santa Catarina para Con-  
clusão do Curso de Graduação em En-  
genharia Sanitária e Ambiental.

**VICTOR VIEIRA QUEIROZ**

Orientador: Prof. Sebastião Roberto Soares

Florianópolis/SC  
Dezembro/2011



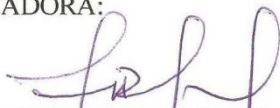
Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC  
Centro Tecnológico – CTC  
Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental – ENS

## **AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE UMA PEÇA AUTOMOTIVA**


Victor Vieira Queiroz

Trabalho submetido à Banca Examinadora como parte dos requisitos para Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental – TCC II.

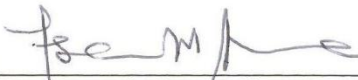
BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. Sebastião Roberto Soares  
(Orientador)



Dr.ª Schirlene Chegatti  
(Membro da Banca)



Prof. Dr. Fernando Soares Pinto Sant'Anna.  
(Membro da Banca)

Florianópolis/SC  
Dezembro/2011



## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu orientador, Professor Sebastião Roberto Soares pela competência, paciência e dedicação.

Agradeço às colegas e chefes de trabalho Eng. Schirlene Chegatti e Eng. Tatiane Cristina da Silva, pelo suporte em todos os momentos.

À Eng. Taisa Sandoli Rosseto pelo empenho demonstrado na execução deste trabalho e pelos meios disponibilizados para tal.

Ao Eng. Rafael Schumacher Bail pela paciência e acompanhamento durante as visitas técnicas.

Ao Eng. Guilherme Marcelo Zanghelini pelo auxílio e treinamento com o programa SimaPro.

Agradeço a Schulz S.A. pela oportunidade de estágio e realização desta pesquisa em campo. A todos os colaboradores que de alguma maneira nos ajudaram neste trabalho, em especial para Sérgio Santana Junior, Patrick Giovani Fiori e Rodger Cleyton Correa.





## RESUMO

Com o advento da política nacional dos resíduos sólidos e a consolidação de princípios legais ambientais, diversas corporações começaram a se preocupar com os impactos ambientais de suas atividades e o entendimento destes impactos. A Análise do Ciclo de Vida (ACV) é uma metodologia que analisa todo o ciclo de vida de um produto ou serviço, com relação à variável ambiental, para determinar medidas que busquem melhorá-lo. Este presente TCC abordou a ACV de um cubo de roda, peça automotiva utilizada na linha automotiva pesada. Produzido pela empresa Schulz S/A, localizada em Joinville, no nordeste de Santa Catarina. O principal objetivo é a identificação dos processos elementares que mais participam dos impactos nesta cadeia produtiva, direcionando as oportunidades de melhorias. O estudo ocorreu no decorrer do segundo semestre de 2011. Os resultados obtidos revelaram que a extração da matéria prima ferro-gusa, utilização de energia para os fornos e disposição final da escória de alto forno, todos pertencentes ao processo de fusão, são os responsáveis pela maior participação percentual sob as dez categorias analisadas.

**Palavras Chave:** Avaliação de Ciclo de Vida; Fundição; Indústria Automotiva



## **ABSTRACT**

The advent of the national policy of solid waste and consolidation of environmental legal principles, several corporations started to worry about the environmental impacts of their activities and understanding of these impacts. The Life Cycle Assessment (LCA) is a methodology that analyzes the entire life cycle of a product or service with respect to the environmental variable to determine measures that seek to improve it. This gift CBT approached the LCA of a wheel hub, automotive part used in the automotive heavy line. Produced by Schulz S / A, located in Joinville, Santa Catarina in the northeast. The main objective is the identification of elementary processes that more participate in this production chain impacts, addressing opportunities for improvement. The study took place during the second half of 2011. The results showed that the extraction of raw pig iron, energy use for furnaces and final disposal of blast furnace slag, all belonging to the merger process, are responsible for the largest percentage share in the ten categories analyzed.

**Keywords:** Life Cycle Assessment, Foundry, Automotive Industry



# SÚMÁRIO

<b>AGRADECIMENTOS .....</b>	<b>7</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>9</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>11</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>19</b>
2.1. Objetivo Geral .....	19
2.2. Objetivos Específicos.....	19
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>20</b>
3.1. Avaliação do Ciclo de Vida (ACV).....	20
3.1.1. Introdução.....	20
3.1.2. Histórico .....	20
3.1.3. Definição .....	22
3.1.4. Estrutura Metodológica .....	24
3.1.5. Normatização .....	30
3.2. Cubo de Roda .....	31
3.2.1. Descrição da Peça .....	31
3.2.2. Utilização da Peça .....	33
3.3. Sistema de produção.....	34
3.3.1. Fundição.....	34
3.3.2. Pintura.....	36
3.3.3. Usinagem.....	37
<b>4. METODOLOGIA .....</b>	<b>40</b>
4.1. Caracterização da Área .....	40
4.2. Definições e Objetivos.....	41
4.3. Coleta de Dados .....	42
4.3.1. Definições.....	43
4.3.2. Dados Fundição .....	44
4.3.3. Dados Pintura .....	45
4.3.4. Dados Usinagem .....	47
4.4. Análise em Laboratório - SimaPro .....	48
<b>5. ESTUDO DE CASO – CUBO DA RODA.....</b>	<b>50</b>
5.1. Objetivo do Estudo.....	50
5.2. Escopo do Estudo .....	51
5.2.1. Função do Sistema de Produto.....	51
5.2.2. Unidade Funcional .....	51
5.2.3. Fronteiras do Sistema .....	51
5.3. Processo Produtivo .....	52

5.3.1.	Fundição.....	52
5.3.2.	Pintura .....	59
5.3.3.	Usinagem .....	63
5.3.4.	Dados não coletados e outras considerações .....	66
5.3.5.	Transporte.....	67
<b>5.4.</b>	<b>Resultados .....</b>	<b>68</b>
5.4.1.	Inventário de Ciclo de Vida (ICV) .....	68
5.4.2.	Análise do Inventário de Ciclo de Vida.....	70
5.4.3.	Interpretações .....	79
<b>6.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>88</b>
<b>7.</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>89</b>
<b>8.</b>	<b>APÊNDICES.....</b>	<b>92</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Estágios do ciclo de vida de um produto .....	23
Figura 2 - Ciclo de vida de um produto.....	24
Figura 3 - Fases de uma ACV .....	25
Figura 4 - Etapas para construção do inventário de ciclo de vida. ....	28
Figura 5- Divisão Das Normas Iso 14000. ....	30
Figura 6 - Exemplares De Cubo De Roda Produzidos Na Schulz S.A. 32	
Figura 7 - Cubo De Roda Objeto De Estudo.....	33
Figura 8 - Cubo De Roda Montado .....	33
Figura 9 - Fluxograma Processo Fundição .....	35
Figura 10 - Usinagem Do Objeto De Estudo.....	38
Figura 11 - Usinagem E Fluido De Corte.....	38
Figura 12 – Exemplos De Usinagem.....	39
Figura 13 - Localização Do Município De Joinville .....	40
Figura 14 - Setores Schulz.....	41
Figura 15 – Pesagem Broca Ø10,2mm.....	43
Figura 16 – Pesagem Broca Ksem Ø25mm .....	43
Figura 17 - Pesagem Areia Da Quebra De Canal.....	45
Figura 18 - Areia Coletada .....	45
Figura 19 - Torrão De Areia De Moldagem.....	45
Figura 20 – Parte Do Sistema De Pintura KTL. ....	46
Figura 21 - Pesagem Peça Bruta Pintada.....	48
Figura 22 - Pesagem Peça Usinada .....	48
Figura 23 - Desenho Do Cubo Da Roda.....	51
Figura 24 - Fronteiras Do Estudo .....	52
Figura 25 - Macroprocessos .....	52
Figura 26 - Composição Da Areia De Moldagem.....	53
Figura 27 - Processo Elementar De Confecção Do Macho .....	54
Figura 28 - Ferramental Do Cubo De Roda Dianteiro .....	54
Figura 29 - Linha De Montagem Hsw II.....	55
Figura 30 - Composição Da Carga, Resíduos e Emissões Atmosféricas Geradas No Forno. ....	55
Figura 31 - Moldes Prontos Para O Vazamento .....	56
Figura 32 - Vazamento .....	56
Figura 33 - Molde Após Vazamento .....	56
Figura 34 - Entradas E Saídas Do Processo De Desmoldagem.....	57
Figura 35 – Desmoldagem. Produto: Conjunto De 4 Peças .....	58
Figura 36 - Processo Elementar : Quebra De Canal.....	58
Figura 37 - Peça Antes Do Jateamento.....	59
Figura 38 - Peça Pós Jateamento.....	59

Figura 39 – Processo De Pintura Ktl.....	59
Figura 40 - Enxágue I.....	61
Figura 41 - Fosfatização.....	61
Figura 42 - Tanque De Pintura Ktl/E-Coat .....	62
Figura 43 - Ferramentas Utilizadas Na Usinagem Da Peça 208.38 - Cubo De Roda.....	63
Figura 44 - Peça Após Máquina Vsc 500.....	64
Figura 45 - Fluxograma Usinagem .....	65
Figura 46 - Oleadora .....	65
Figura 47 - Lavadora.....	65
Figura 48 - Cavaco De Usinagem.....	65
Figura 49 - Participação Dos Macroprocessos Nas Categorias De Impacto Analisadas.....	72
Figura 50 - Distribuição Dos Impactos Entre Os Processos .....	73



## 1. INTRODUÇÃO

“A problemática ambiental, vislumbrada globalmente na atualidade, vem incentivando empresas e indivíduos a adotarem uma postura mais racional em relação às suas interações com o meio. Além disso, o desenvolvimento de políticas ambientais mais restritivas, nas últimas décadas, estimulou as indústrias a adaptarem-se a novas demandas.” (PASSUELO, 2007).

Com o advento da política nacional dos resíduos sólidos, princípios legais ambientais do poluidor pagador e logística reversa, diversas corporações começaram a se preocupar com os impactos ambientais de suas atividades e o entendimento destes impactos.

Na zona industrial de Joinville – Santa Catarina, onde bens são produzidos e exportados para grandes empresas, a cobrança do sistema de gestão ambiental vai além de auditorias ambientais e avaliações de impacto ambiental; outra ferramenta se torna necessária: a avaliação do ciclo de vida. (ACV)

A avaliação do ciclo de vida proporciona uma análise qualitativa e quantitativa dos impactos ambientais provocados não apenas durante os processos produtivos, mas também ao longo dos demais estágios da vida do produto, como na obtenção de matérias-primas elementares, produção de energia necessária para suprir o sistema até sua destinação final.

Segundo Soares (2006), o princípio da ACV consiste em analisar as repercussões ambientais de um produto ou atividade, a partir de um inventário de entradas e saídas (matérias-primas, energia, produto, subprodutos e resíduos) do sistema considerando etapa por etapa. Esse procedimento permite uma avaliação científica da situação, além de facilitar a localização de eventuais mudanças associadas às diferentes etapas do ciclo que resultem em melhorias no seu perfil ambiental.

Este trabalho de conclusão de curso apresenta a análise de ciclo de vida da produção de uma peça automotiva da linha pesada; esta, enviada empresa Volvo para montagem de caminhões. Será realizado com o auxílio da empresa Schulz S/A, localizada no município de Joinville, com o objetivo de identificar os pontos na cadeia produtiva geradores de maior impacto ambiental a fim de controlá-los e diminuí-los.

A avaliação de ciclo de vida, em síntese, é dividida em quatro etapas: a primeira etapa é a definição de objetivo e escopo, com desta-

que para a delimitação das fronteiras do sistema de produto; a segunda etapa envolve a compilação de um inventário de entradas e saídas pertinentes de um sistema de produto, o qual concentra todas as informações coletadas em campo.

Segue com a avaliação dos impactos do ciclo de vida, o que compreende a associação dos dados obtidos na etapa anterior com impactos ambientais específicos na tentativa de compreender esses impactos; e por fim a interpretação dos resultados das fases de análise de inventário e de avaliação de impactos em relação aos objetivos.

O trabalho foi realizado de agosto a dezembro de 2011 na própria empresa, beneficiando ao final a empresa que incentiva a realização do TCC durante o expediente de trabalho; o setor automotivo, que recebe uma avaliação científica de uma peça produzida e a comunidade acadêmica, enriquecendo a base de dados sobre ACV.

Por intermédio deste estudo espera-se direcionar futuras ações, investimentos ou outros estudos para os setores mais críticos do processo de produção, identificar oportunidades para melhorar os aspectos ambientais em vários pontos do ciclo de vida e enriquecer o conhecimento científico em relação à análise de ciclo de vida no meio industrial.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo Geral**

O objetivo geral deste Trabalho de Conclusão de Curso é a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) do processo de fabricação do cubo de roda dianteiro utilizado em Caminhões Volvo.

### **2.2. Objetivos Específicos**

- Identificar a etapa de produção de maior impacto ambiental;
- Avaliar os efluentes líquidos, resíduos sólidos e, quando possível, as emissões atmosféricas geradas devido ao processo produção do cubo da roda dianteiro;
- Estabelecer cenários alternativos de produção;

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)

##### 3.1.1. Introdução

“A crescente preocupação com as questões ambientais tem levado as indústrias brasileiras a buscar tecnologias mais limpas. No entanto, há outros fatores associados a esse processo: a conscientização da sociedade, a pressão do mercado que exige padrões mais adequados, e o avanço da legislação ambiental, cada vez mais exigente, que vêm induzindo as organizações a manter uma relação mais sustentável com o meio ambiente.” BARBOSA (2008)

Segundo CHEHEBE (1997), todo produto, não importa de que material seja feito –, madeira, vidro, plástico, metal ou qualquer outro elemento – provoca um impacto no meio ambiente, seja em razão de seu processo produtivo, das matérias-primas que consome ou de seu uso e disposição final; na análise dos impactos ambientais das atividades industriais, portanto, é preciso que haja um enfoque integrado, no qual seja feito uma completa avaliação do ciclo de vida dos produtos, abrangendo limites além do processo produtivo.

Nesse contexto o presente trabalho irá abordar aspectos do surgimento da ACV, conceitos, benefícios, normatização e metodologia.

##### 3.1.2. Histórico

Os estudos de ACV tiveram início na década de 60, com a crise do petróleo, que levou a sociedade a se questionar sobre o limite da extração dos recursos naturais, especialmente de combustíveis fósseis e de recursos minerais. Os primeiros estudos tinham por objetivo calcular o consumo de energia e, por isso, eram conhecidos como “análise de energia” (*energy analysis*). Estes estudos envolviam a elaboração de um fluxograma de processo com balanço de massa e de energia. Logo, dados sobre consumo de matérias-primas, combustíveis e sobre os resíduos sólidos gerados eram contabilizados automaticamente. Por esta razão, alguns analistas se referiam a estes estudos como “análise de recursos” (*resource analysis*) ou “análise do perfil ambiental” (*environmental profile analysis*). (COLTRO, 2007)

BARBOSA (2008) também afirma que os primeiros estudos sobre a ACV tiveram início, de forma tímida, durante a primeira crise do petróleo. “Nesse período, o mundo despertou para a necessidade de uma melhor utilização dos recursos naturais. Em razão disso, foram realizados estudos, que ficaram conhecidos como *Resource Environmental Profile Analysis*<sup>1</sup> (REPA), para avaliar os processos produtivos e racionalizar o consumo energético.”

Um dos primeiros estudos quantificando as necessidades de recursos, emissões e resíduos originados por diferentes embalagens de bebidas foi conduzido pelo “Midwest Research Institute<sup>2</sup>” (MRI) para a Companhia Coca-Cola em 1969. Um dos resultados interessantes do trabalho da Coca-Cola foi demonstrar que as garrafas de plástico não eram piores, do ponto de vista ambiental, do que as de vidro. Anteriormente, os plásticos tinham a reputação de um produto indesejável em termos ambientais, tendo o estudo REPA demonstrado, que esta reputação era baseada em más interpretações (HUNT E FRANKLIN<sup>3</sup>, 1996 apud FERREIRA, 2004).

Segundo CARVALHO (2010), esse estudo conhecido como *Resource and Environmental Profile Analysis*, foi aprimorado, em 1974, pelo MRI a pedido da U.S. *Environmental Protection Agency*<sup>4</sup> (U.S.EPA), quando da realização de um trabalho semelhante envolvendo diversas outras fontes de energia. A divulgação deste estudo desperta tanto interesse que os pesquisadores da MRI fundam a “*Franklin Associates*”, que se torna um dos maiores escritórios de consultoria em ACV dos EUA.

“Desde então, um grande número de instituições e de consultores passou a utilizar esta metodologia, agregando novos critérios à análise a cada estudo. Inicialmente, métodos distintos eram aplicados aos mesmos produtos, porém, obtendo resultados diversos, o que colocou em questão a confiabilidade deste instrumento. Foi assim que, em 1979, surgiu a *Society for Environmental Toxicology and Chemistry*<sup>5</sup> (SETAC), tendo

---

1 Análise do Perfil Ambiental e de Recursos, em português

2 Instituto de Pesquisa do Centro-Oeste

3 Hunt, R. e Franklin, E., (1996). LCA - How it Came About. Personal Reflections on the Origin and the Development of LCA in the USA. Int. J. LCA, vol. 1 (1) 4-7. Landsberg, Germany: Ecomed.

4 Agência de proteção ambiental dos Estados Unidos, em português.

5 Sociedade de Química e Toxicologia Ambiental, em português.

como um de seus objetivos sistematizar uma metodologia e critérios para a ACV.” (SONNEMANN<sup>6</sup>; 2004 apud SOUSA; 2008).

De acordo com PASSUELO (2007), no início dos anos 1990, a ACV ganha ênfase na temática ambiental. Neste mesmo período, ocorre grande impulso com relação à consciência ambiental, com a publicação das normas BS 7750 e da série de normas ISO 14000, que vêm motivando as empresas a investir em melhorias ambientais, com a introdução de sistemas de gestão ambiental e maior cuidado nos processos de fabricação, produtos e rejeitos gerados, conduzindo à certificação ambiental. Mais recentemente, em 2000, uma parceria entre a SETAC e a *United Nations Environment Programme* (UNEP) foi estabelecida, originando o *Life-Cycle Initiative*<sup>7</sup>, uma iniciativa que visa desenvolver e disseminar ferramentas práticas para avaliar o ciclo de vida de sistemas de produtos. (SOUSA, 2008).

### 3.1.3. Definição

A ACV é essencialmente um instrumento científico qualitativo e quantitativo, que avalia todos os estágios do ciclo de vida e tipos de impactos ambientais direcionados ao produto, com o intuito de levantar e interpretar os aspectos e impactos potenciais envolvidos em todo o processo; aprimorar o processo produtivo e os produtos de uma empresa; comparar, de uma forma integrada, o desempenho ambiental de seus produtos; auxiliar na tomada de decisões da indústria, do governo e das ONGs, na definição de prioridades e no desenvolvimento de projetos e processos; fornecer informações referentes aos recursos utilizados no consumo de energia e nas emissões de poluentes; subsidiar as estratégias de marketing (comparação de produtos, rotulagem e declarações ambientais), gerando uma diferenciação na competitividade dos produtos no mercado cada vez mais exigente. (BARBOSA, 2008)

A norma ISO 14040 define a ACV como uma técnica para avaliar aspectos ambientais e impactos potenciais associados a um produto<sup>8</sup> ao longo de sua vida: desde a aquisição da matéria-prima, passando por

---

<sup>6</sup> SONNEMANN, G. W.; CASTELS, F.; SCHUHMACHER, M. *Integrated Life-Cycle and Risk Assessment for Industrial Processes: Advanced Methods in Resource and Waste Management*. London: Lewis Publishers, 2004. 362 p.

<sup>7</sup> Iniciativa de Ciclo de Vida

<sup>8</sup> O termo “produto” usado isoladamente não inclui somente sistemas de produto, mas pode também incluir sistemas de serviço.

produção, uso e disposição, ou seja, do “berço ao túmulo”. A técnica é desenvolvida mediante:

- Compilação de um inventário de entradas e saídas pertinentes de um sistema de produto;
- Avaliação dos impactos ambientais potenciais associados a essas entradas e saídas;
- Interpretação dos resultados das fases de análise de inventário e de avaliação de impactos em relação aos objetivos dos estudos.

Segundo SOARES (2002), análise do ciclo de vida é um processo que objetiva avaliar os encargos ambientais associados a um produto, processo ou atividade, pela identificação e quantificação da energia e materiais utilizados e resíduos produzidos, visando avaliar o impacto dessa “utilização – liberação” no ambiente, e implementar oportunidades de melhorias ambientais. Este processo considera todas as interações (consumos e geração de resíduos) ocorridas desde a extração da matéria prima até o tratamento e/ou disposição final do produto após sua utilização.”.

A Análise de Ciclo de Vida (ACV) é a compilação e avaliação das entradas, saídas e dos potenciais impactos ambientais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida.

O termo “ciclo de vida” refere-se à maioria das atividades no decurso da vida do produto desde a sua fabricação, utilização, manutenção, e deposição final; incluindo aquisição de matéria-prima necessária para a fabricação do produto. A Figura 1 ilustra os possíveis estágios de ciclo de vida que podem ser considerados numa ACV e as típicas entradas/saídas medidas (USEPA, 1993).

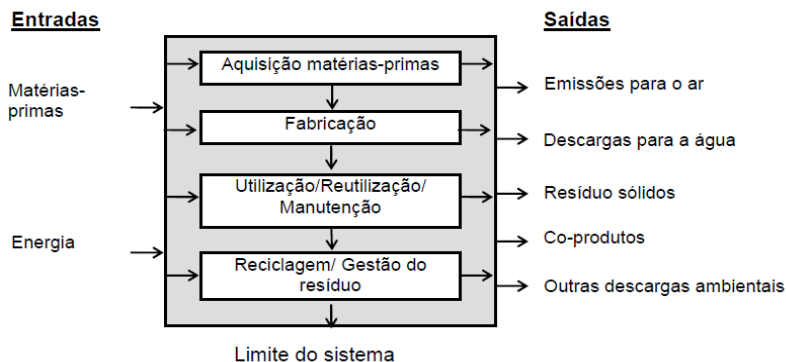


Figura 1- Estágios do ciclo de vida de um produto. Fonte USEPA, 1993

Segundo BAUMANN e TILLMAN<sup>9</sup> (2004) apud SOUSA (2008), a ACV é uma ferramenta de engenharia por abranger o estudo de sistemas técnicos e suas alterações potenciais. Paralelamente, ela é considerada uma ferramenta multidisciplinar por envolver conceitos diversos ao modelar os impactos ao ambiente natural e suas relações humanas.

Definindo ciclo de vida, FERREIRA (2004) afirma que é a expressão usada para referir-se a todas as etapas e processos de um sistema de produtos ou serviços, englobando toda a cadeia de produção e consumo, considerando aquisição de energia, matérias primas e produtos auxiliares; aspectos dos sistemas de transportes e logística; características da utilização, manuseio, embalagem, marketing e consumo; sobras e resíduos e sua respectiva reciclagem ou destino final.

A Figura 2 ilustra as etapas que podem ser incluídas analisadas em um estudo, seguindo a lógica normativa do “berço ao túmulo”.

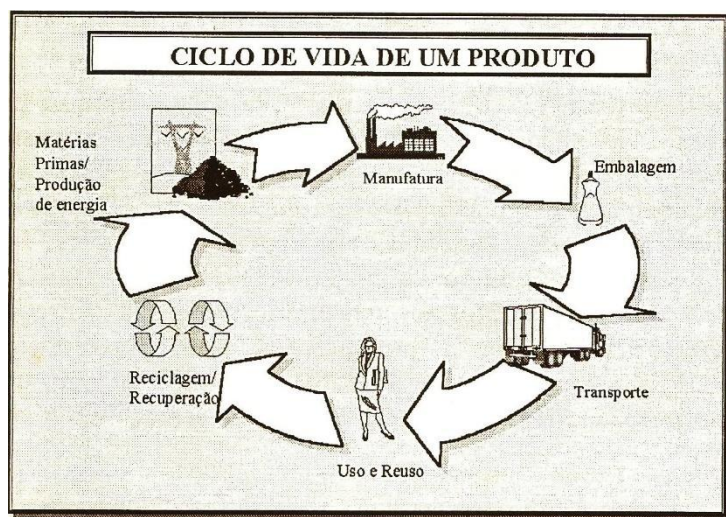


Figura 2 - Ciclo de vida de um produto. Fonte: Chehebe, 1997.

### 3.1.4. Estrutura Metodológica

<sup>9</sup> BAUMANN, H; TILLMAN, A-M. *The Hitch Hiker's Guide to LCA: An orientation in life cycle assessment – methodology and application*. Lund: Studentlitteratur AB, 2004, 543 p.



A avaliação do ciclo de vida deve incluir quatro etapas: definição de objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação de impactos e interpretação de resultados, conforme ilustrado na Figura 3.

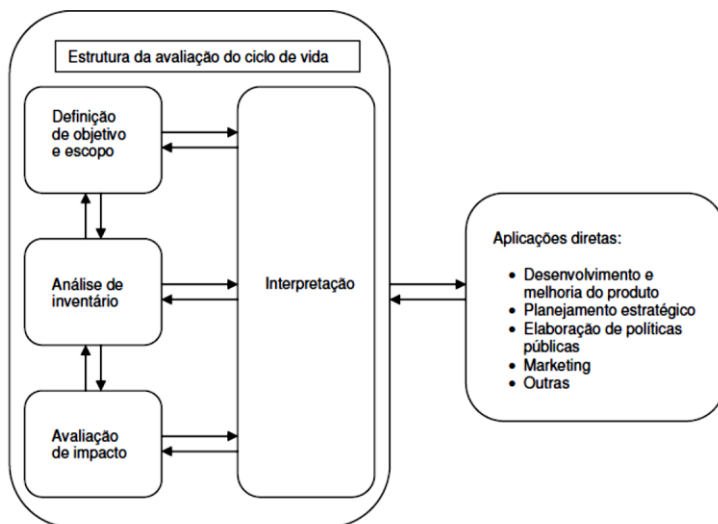


Figura 3 - Fases de uma ACV. Fonte: NBR14040:2001

#### 3.1.4.1. Definição de Objetivo e Escopo

O objetivo e escopo de um estudo ACV devem ser consistentes com a aplicação pretendida e devem ser claramente definidos. (NBR 14040:2001)

Deve constar no objetivo:

- Aplicação pretendida;
- Razões para conduzir o estudo;
- Público alvo.

A definição dos objetivos expressa à aplicação pretendida, as razões para o desenvolvimento do estudo, o público-alvo (para quem o estudo será apresentado) e se os resultados são utilizados em declarações públicas comparativas. Ao mesmo tempo, identifica o propósito do estudo, a natureza da comparação e o alcance esperado. É uma etapa essencial para que se inicie a análise com uma hipótese bem definida. (PASSUELO, 2007)

Em relação ao escopo, segundo a norma citada acima, convém que o escopo seja suficientemente bem definido para assegurar que a exten-

são, a profundidade e o grau de detalhe do estudo sejam compatíveis e suficientes para atender o objetivo estabelecido.

Na definição do escopo de um estudo da ACV devem ser considerados e claramente descritos os seguintes itens:

- As funções do sistema de produto ou, no caso de estudos comparativos, dos sistemas;
- A unidade funcional<sup>10</sup>;
- O sistema de produto a ser estudado;
- As fronteiras do sistema de produto<sup>11</sup>;
- Procedimentos de alocação<sup>12</sup>;
- Tipos de impacto e metodologia de avaliação de impacto e interpretação subsequente a ser usada;
- Requisitos dos dados;
- Suposições;
- Limitações;
- Requisitos da qualidade dos dados iniciais;
- Tipo de análise crítica, se aplicável;
- Tipo e formato do relatório requerido para o estudo.

#### *3.1.4.2. Análise de Inventário de Ciclo de Vida (ICV)*

Análise do inventário envolve a coleta de dados e procedimentos de cálculo para quantificar as entradas e saídas pertinentes de um sistema de produto. Estas entradas e saídas podem incluir o uso de recursos e liberações no ar, na água e no solo associados com o sistema.

O processo de condução de uma análise do inventário é iterativo. Na medida em que os dados são coletados e é conhecido mais sobre o sistema, podem ser identificados novos requisitos ou limitações para os dados que requeiram uma mudança nos procedimentos de coleta de dados, de forma que os objetivos do estudo ainda sejam alcançados. Às vezes, podem ser identificadas questões que requeiram revisões de objetivo ou do escopo do estudo. (NBR 14040:2001)

---

<sup>10</sup> Unidade funcional: Desempenho quantificado de um sistema de produto para uso como uma unidade de referência num estudo de avaliação do ciclo de vida.

<sup>11</sup> Fronteiras do sistema: Interface entre um sistema de produto e o meio ambiente ou outros sistemas de produto.

<sup>12</sup> Alocação: Repartição dos fluxos de entrada ou de saída de uma unidade de processo no sistema de produto sob estudo.

Segundo FERREIRA (2004), a análise de inventário processa-se através das seguintes fases: construção da árvore do processo; definição dos limites do sistema (de produto com o ambiente e de produto com outros sistemas de produto); finalização dos limites do sistema; recolha de dados; procedimentos de cálculos (procedimentos de afetação e procedimentos de construção da tabela de inventário). Em síntese, segundo a NBR ISO 14040, o ICV deve compreender:

- Considerações gerais;
- Coleta de dados;
- Cálculos com os dados;
- Alocação de fluxos e liberações;

A Norma NBR ISO 14041:2004 especifica o processo e recomenda que sejam realizadas todas as etapas operacionais delineadas na Figura 4 para o sucesso de um ICV.

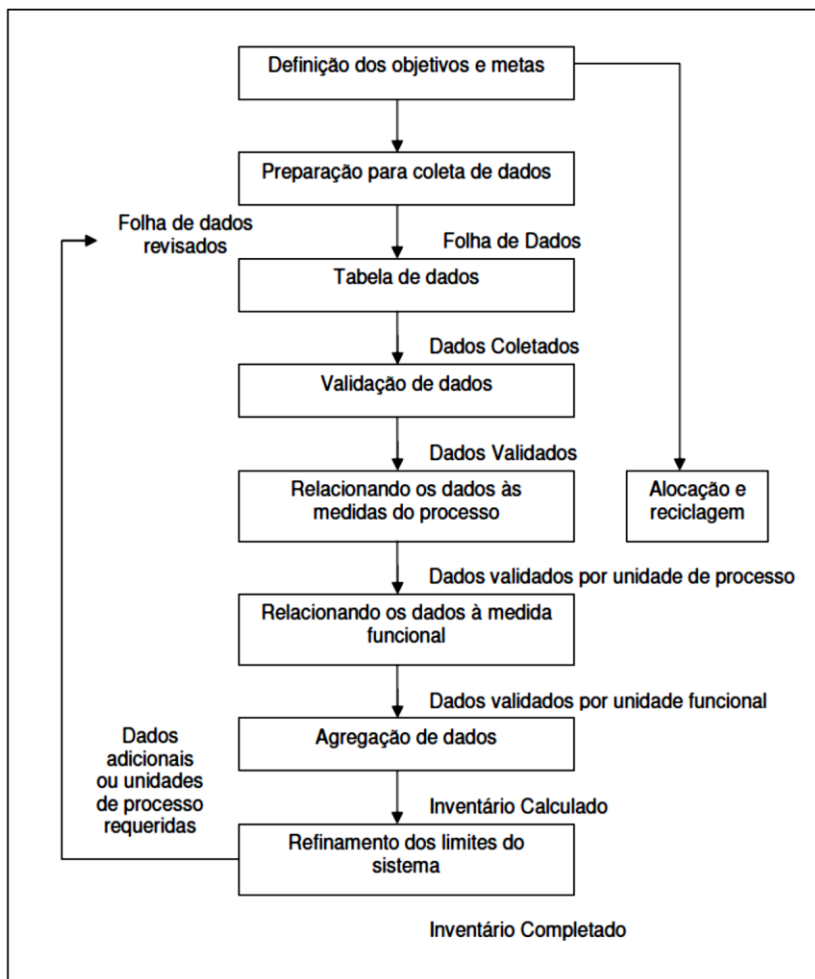


Figura 4 - Etapas para construção do Inventário de Ciclo de Vida.

Fonte: NBR14041:2004

#### 3.1.4.3. Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida (AICV)

A fase de avaliação do impacto da ACV é dirigida à avaliação da significância de impactos ambientais potenciais, usando os resultados da análise de inventário do ciclo de vida. Em geral, este processo envolve a associação de dados de inventário com impactos ambientais específicos

e a tentativa de compreender estes impactos. O nível de detalhe, a escolha dos impactos avaliados e as metodologias usadas dependem do objetivo e do escopo do estudo. (NBR 14040:2001)

Esta avaliação pode incluir o processo iterativo de análise crítica do objetivo e do escopo do estudo da ACV, para determinar quando os objetivos do estudo foram alcançados ou modificar o objetivo e o escopo, se a avaliação indicar que eles não podem ser alcançados.

A fase de avaliação de impacto pode incluir, entre outros, elementos como:

- Correlação de dados de inventário por categorias de impacto (classificação);
- Modelagem dos dados de inventário dentro das categorias de impacto (caracterização);
- Possível agregação dos resultados em casos muito específicos e somente quando significativos (ponderação).

FERREIRA (2004) argumenta que nesta fase o sistema do produto é examinado sob uma perspectiva ambiental, relacionando os resultados do ICV às categorias de impacto e transformando-os em resultados dos indicadores de categorias, ou ainda, em um índice ambiental único por sistema de produto avaliado. O conjunto de resultados dos indicadores constitui o perfil da AICV, fornecendo informações relativas às questões ambientais associadas aos itens de entrada e saída do sistema de produto.

Os objetivos da AICV são:

- Tornar os resultados mais relevantes, compreensíveis e fáceis de comunicar;
- Melhorar a legibilidade dos resultados, reduzindo o número de parâmetros para um por categoria ou um índice único, permitindo, desta maneira, a comparação entre sistemas.

#### *3.1.4.4. Interpretação*

É a avaliação e análise dos resultados obtidos nas fases de ICV e AICV deste estudo de acordo com os objetivos e escopo definidos na primeira etapa.

As constatações desta interpretação podem tomar a forma de conclusões e recomendações para os tomadores de decisão, de forma consistente com o objetivo e o escopo do estudo.

### 3.1.5. Normatização

As normas da série ISO 14000 podem ser agrupadas, genericamente, em dois grandes grupos: aquelas orientadas para processos (organizações) e aquelas orientadas para produtos, como pode ser verificado na Figura 5 (TIBOR; FELDMAN<sup>13</sup>, 1996 apud POMBO; MAGRINI 2008).

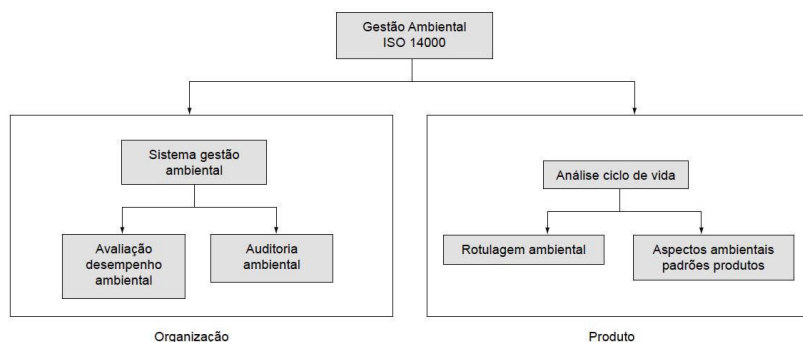


Figura 5- Divisão das normas ISO 14000 em normas orientadas para produtos e para processos. Fonte: Tibor e Feldman (1996).

Em 1997, os princípios e requisitos gerais da ACV foram estabelecidos pela primeira norma ISO 14040. Nos anos seguintes, foram publicadas mais três normas (ISO 14041, 14042 e 14043), detalhando a metodologia desta ferramenta. A tabela 1 lista todas as normas da série ISO 14000 editadas no Brasil.

**Tabela 1** - Lista de Normas Publicadas *Fonte:* (TIBOR; FELDMAN, 1996 apud POMBO; MAGRINI 2008).

Subcomitê da ABNT/CB-38	Norma NBR-ISO
SC 01 – Sistemas de gestão ambiental	<p><b>NBR-ISO 14001:2004.</b> Sistemas de gestão ambiental – requisitos com orientações para uso.</p> <p><b>NBR-ISO 14004.</b> Sistemas de gestão ambiental – diretrizes gerais sobre princípios, sistemas e técnicas de apoio.</p>

<sup>13</sup> TIBOR, T.; FELDMAN, I. **ISO 14000: a guide to the new environmental management standards**. Chicago: Irwin Professional Publishing, 1996. 237 p.

SC 02 – Auditorias ambientais	<b>NBR-ISO 14015.</b> Sistemas de gestão ambiental – avaliações ambientais de localidades e organizações. <b>NBR-ISO 19011.</b> Diretrizes para auditorias de qualidade e ambiental.
SC 03 – Rotulagem ambiental	<b>NBR-ISO 14021.</b> Auto declarações ambientais (rótulo ambiental tipo II). <b>NBR-ISO 14024.</b> Rótulo ambiental tipo I (de terceira parte).
SC 04 – Avaliação de desempenho ambiental	<b>NBR-ISO 14031.</b> Avaliação do desempenho ambiental – diretrizes.
SC 05 – Avaliação do ciclo de vida	<b>NBR-ISO 14040.</b> Avaliação do ciclo de vida – princípios e estrutura. <b>NBR-ISO 14041.</b> Avaliação do ciclo de vida – definição de escopo e análise do inventário. <b>NBR-ISO 14042.</b> Avaliação do ciclo de vida – avaliação do impacto do ciclo de vida. <b>NBR-ISO 14043.</b> Avaliação do ciclo de vida – interpretação do ciclo de vida.
SC 06 – Termos e definições	<b>NBR-ISO 14050 Rev. 1.</b> Termos e definições.
SC 07 – Aspectos ambientais no projeto e desenvolvimento de produtos ( <i>ecodesign</i> )	<b>NBR-ISO TR 14062.</b> É um relatório técnico, com o mesmo título do subcomitê.

No ano de 2009, as normas referentes à ACV, ISO 14041, ISO 14042 e ISO 14043 foram condensadas em apenas uma norma ISO 14044.

Atualmente, em relação à ACV estão publicadas:

- NBR ISO 14040: Gestão Ambiental: Avaliação do Ciclo de Vida – *Princípios e Estrutura*;
- NBR ISO 14044: Gestão Ambiental: Avaliação do Ciclo de Vida – *Requisitos e Diretrizes*;

## 3.2. Cubo de Roda

### 3.2.1. Descrição da Peça

O cubo de roda é uma peça automotiva que serve para transmitir o torque para as rodas do veículo, dando movimento para o mesmo. Nele

estão fixados os parafusos de roda e o rolamento de roda. Os cubos de roda são o suporte do disco de freio ou do tambor de freio.



Figura 6 - Exemplos de Cubo de Roda Produzidos na Schulz S.A. *Fonte: do Autor*

O cubo de roda escolhido foi o cubo dianteiro produzido para a montadora Volvo Trucks Curitiba, utilizado na fabricação de caminhões da linha pesada.





Figura 7 - Cubo de Roda objeto de estudo *Fonte: do Autor*

### 3.2.2. *Utilização da Peça*

A peça é utilizada em caminhões dos seguintes modelos:

- Volvo FH
- Volvo FM
- Volvo VM



Figura 8 - Cubo de Roda Montado *Fonte: Galeria de imagens Volvo*

### 3.3. Sistema de produção

A produção do cubo de roda na empresa Schulz S.A. é dividida em três etapas: Fundição, Pintura e Usinagem.

#### 3.3.1. Fundição

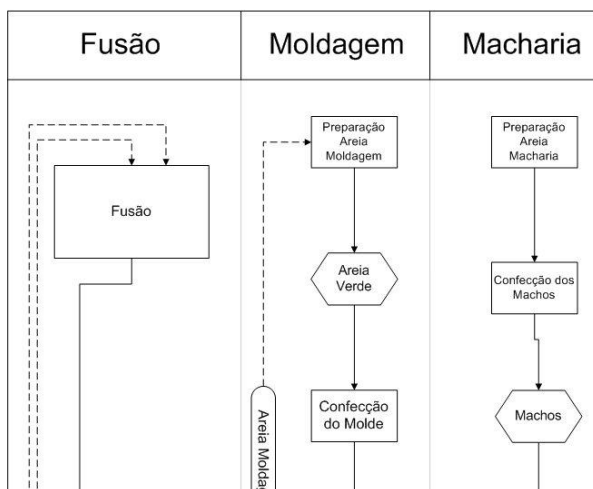
"Trata-se do processo de obtenção de peças que consiste em vaziar um metal líquido dentro de um molde, que pode ser permanente ou perdido. Logo após a solidificação do metal procede-se a extração da peça que segue para processo de limpeza e controle. A peça obtida é normalmente um produto semiacabado." (DUARTE, 2007)

CAMPOS FILHO, 1978, afirma: "A base de todos os processos de fundição consiste em alimentar o metal líquido, na cavidade de um molde com o formato requerido seguindo-se um resfriamento a fim de produzir um objeto sólido resultante de solidificação."

A fundição emprega nos seus processos modelos, moldes e machos que promovem às peças fundidas a sua conformação de acordo com as etapas existentes de moldagem, fusão e acabamento. (CHEGATTI, 2004)

Abaixo se encontra o fluxograma do processo de fundição da empresa Schulz S.A. e conceitos importantes acerca das etapas de fundição.

### FLUXOGRAMA FUNDIÇÃO



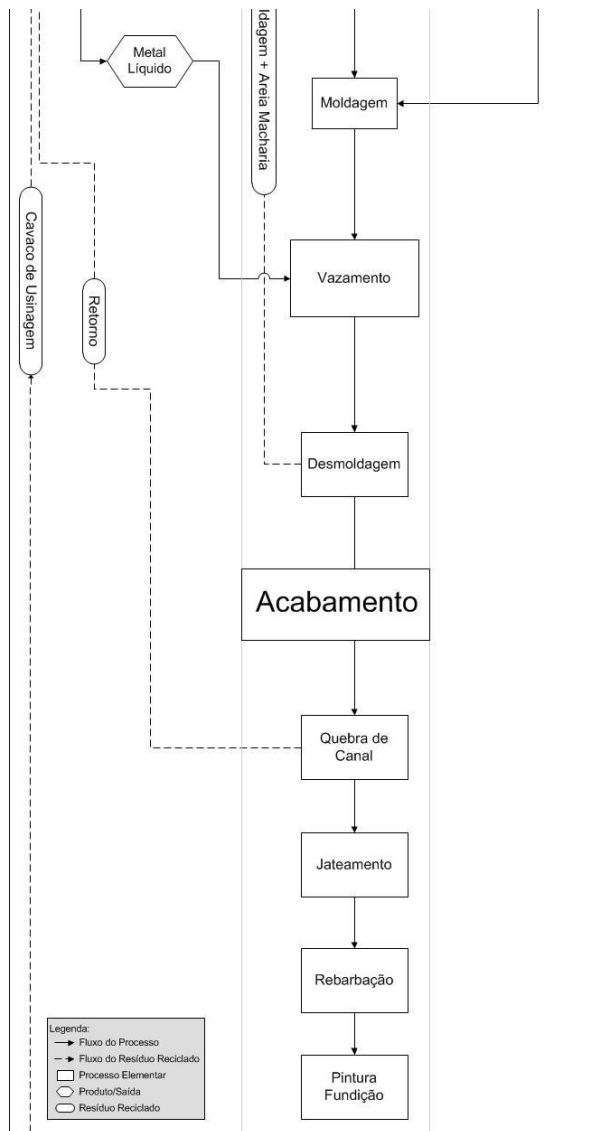


Figura 9 - Fluxograma Processo Fundição *Fonte: do Autor*

a) Modelos - O modelo trata-se de uma réplica perfeita da peça que será produzida acrescida nas dimensões de material para compensar a contração e usinagem. O modelo pode ser fabricado em madeira, me-

tal, resinas ou outros materiais (PERINI<sup>14</sup>, 1986 apud CHEGATTI, 2004).

b) Moldes – “O molde é feito por empacotamento de areia, em torno do modelo, toda a estrutura estando contida numa caixa de moldagem. O molde é feito em duas partes: uma superior (caixa superior) e outra inferior (caixa inferior)” (CAMPOS FILHO, 1978).

c) Machos – “Para que se produzam as superfícies internas em certas peças fundidas, colocam-se, no interior dos moldes de areia, peças sólidas conformadas ou machos, feitos de uma mistura de moldagem compatível com o metal a ser vazado e com o tamanho da peça fundida. Após o vazamento, o macho é removido da peça deixando a forma interna desejada.” (KONDIC, 1973).

d) Moldagem – a partir do desenho da peça, fabrica-se o modelo, em torno do qual se soca a mistura de moldagem, usando-se caixas de moldagem para suportar as faces laterais do molde; remove-se o modelo, colocam-se os machos em posição, fecham-se as diferentes partes do molde e verte-se o metal na cavidade resultante” (KONDIC, 1973).

e) Fusão – “Na fundição a fusão é conhecida como sendo o setor que faz a transformação do metal do estado sólido para o estado líquido. Portanto este setor é responsável pela dosagem da carga no forno, operação de fusão, tratamentos do banho, ajuste da composição química do metal líquido e transferências de metal entre os fornos e o vazamento nos moldes.” (DUARTE, 2007)

De acordo com CAMPOS FILHO (1978), a provisão do metal é feita pela alimentação do metal líquido por meio de um sistema de canais existentes no molde. Os canais de alimentação alargados ou massalotes são abertos de modo a permitir que o metal escorra para a cavidade do molde.

### 3.3.2. *Pintura*

---

<sup>14</sup> PERINI, Paulo Roberto. **Fundição**. Apostila do Curso Técnico Mecânico. Escola Técnica Federal de Santa Catarina:1986.

A pintura pode ser definida como toda composição aplicada em forma líquida ou pastosa, para formar uma película aderente à superfície metálica e mesmo não metálica que, ao sofrer um posterior endurecimento, forma um revestimento sólido capaz de proteger os materiais contra os diversos meios corrosivos. A garantia de qualidade da pintura industrial em função de um meio corrosivo esta alicerçada nos seguintes parâmetros: do sistema de preparação da superfície, da composição das tintas, do próprio processo de pintura adotado, com observância de etapas, tempo de alternância das aplicações, equipamentos adequados e outros cuidados. (NUNES<sup>15</sup> 1990, apud VILLAS, 2006)

### 3.3.2.1. Pintura Eletroforética – KTL<sup>16</sup>

Segundo VILLAS (2006), a eletroforese conseguiu impor-se como processo moderno de pintura em série nas indústrias automobilísticas e aparelhos eletrodomésticos desde a década de 70. “Hoje em dia, na Europa, Japão, Estados Unidos e também no Brasil, praticamente todos os automóveis produzidos são pintados por eletroforese catódica.”

Ainda de acordo com a autora, a eletrodeposição de tintas é um processo em que se mantém o mesmo princípio da imersão simples. As tintas usadas possuem, porém, uma formulação especial que permite sua polarização. Usando esta propriedade, a peça é ligada ao polo negativo dos retificadores de corrente contínua, estabelecendo-se, assim, entre a peça e a tinta onde ela está mergulhada, uma diferença de potencial, de modo que os compostos orgânicos com carga positiva presentes na formulação sejam atraídos para o polo negativo.

A tinta aplicada vai, continuamente, cobrindo toda a peça com base na adsorção das cargas positivas neutralizadas pelas cargas negativas da peça.

### 3.3.3. Usinagem

Segundo o dicionário técnico da CIMM – Centro de Informação Metal Mecânica, usinagem é o processo de fabricação que promove a

---

<sup>15</sup> NUNES, N.V. **Pintura industrial aplicada**. Rio de Janeiro: Maity Comunicação e Ed., 1990. 178p.

<sup>16</sup> KTL em alemão: Kathodische Tauchlackierung. Em português: eletrodeposição catódica.

retirada de material da peça por cisalhamento, esta porção de material retirada é chamado de cavaco. A usinagem atende aos seguintes objetivos:

- Acabamento de superfícies de peças fundidas ou conformadas mecanicamente;
- Obtenção de peculiaridades (saliências, reentrâncias, furos pasantes, furos rosqueados, etc.);
- Fabricação seriada de peças a um custo mais baixo;
- Fabricação de peças, de qualquer forma, a partir de um bloco de material metálico. As operações de usinagem podem ser classificadas em: torneamento, fresamento, aplainamento, furação, mandrilamento, serramento, brochamento e roscamento, entre outros.



Figura 10 - Usinagem do objeto de estudo *Fonte: do Autor*



Figura 11 - Usinagem e fluido de corte *Fonte: do Autor*

AMORIM, 2002 segue na mesma linha de definição: “os processos de fabricação que envolve mudança de forma podem ser classificados em duas categorias: fabricação com remoção de material e fabricação sem remoção de material. Enquanto a segunda categoria é composta por processos de fabricação como soldagem, conformação e fundição, a

primeira categoria é composta basicamente pelos processos de usinagem.”

As operações de usinagem dividem-se em processos de usinagem convencional e não convencional.

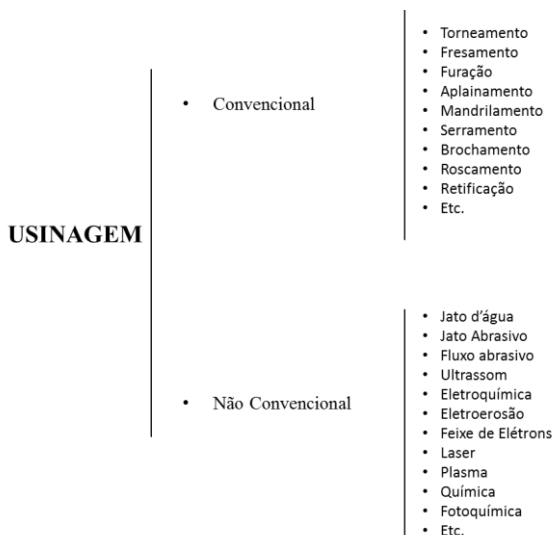


Figura 12 – Exemplos de Usinagem (Adaptado de: MACHADO E SILVA<sup>17</sup>, 1999 apud AMORIM, 2002)

### 3.3.3.1. Fluido de Corte

Segundo RUNGE (1989), fluido de corte é qualquer fluido usado para corte ou usinagem de metais e outros materiais. Ainda de acordo com o autor, as funções do fluido de corte são:

- Refrigerar;
- Lubrificar;
- Melhorar o acabamento de superfície;
- Reduzir o desgaste das ferramentas;
- Remover os cavacos da área de corte;
- Proteger contra a corrosão

<sup>17</sup> Machado, A., da Silva, M. B., 1999. “**Usinagem dos Metais**”, Apostila, DEEME – UFU, Uberlândia.

## 4. METODOLOGIA

### 4.1. Caracterização da Área

O presente trabalho de conclusão de curso foi realizado na Empresa Schulz S/A, instalada no Município de Joinville, vide Figura 13.

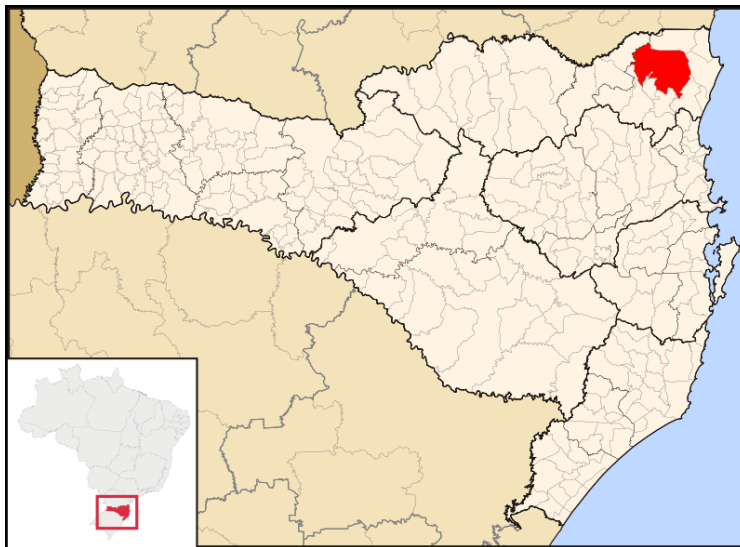


Figura 13 - Localização do Município de Joinville

<b>Tabela 2 - Dados Município de Joinville</b>	
População (hab.)	<b>515.288</b>
Área da unidade territorial (Km <sup>2</sup> )	<b>1.146,873</b>
Densidade demográfica (hab./Km <sup>2</sup> )	<b>449,30</b>

*Fonte: IBGE, 2010.*

A coleta de dados em campo ocorreu em setores distintos da empresa: Área de Fundação e Setor de Usinagem e Pintura, conforme a figura abaixo.



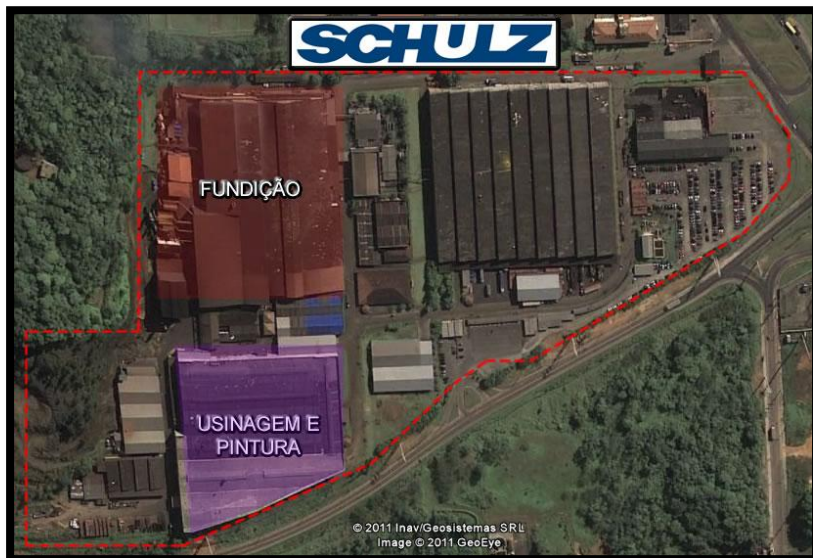


Figura 14 - Setores Schulz. Fonte: Inav/Geosistemas SRL – Google Earth

O tratamento dos dados coletados deste TCC realizou-se na própria empresa e no Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina.

## 4.2. Definições e Objetivos

A avaliação do ciclo de vida tem como objeto de estudo uma peça automotiva, que servirá como modelo para a busca de dados. Neste sentido, o objeto de estudo a ser escolhido deverá:

- Ser fornecido à empresa Volvo;
- Possuir base de dados de seu ciclo de vida (matérias-primas, cadeia produtiva, transporte, etc.);
- Não gerar dados sigilosos;

Para assegurar que os itens descritos acima fossem respeitados, foi realizada uma reunião com o gerente da qualidade, o engenheiro responsável pela peça automotiva, a especialista em meio ambiente da empresa e analista da qualidade responsável pelo contato direto com a empresa cliente. Após esta reunião, foi escolhida uma peça que fosse produzida em grande número pela empresa, com produção programada até o final

de 2011 e que envolvesse todas as etapas de fabricação da empresa: fundição, pintura e usinagem.

Inicialmente estimávamos que a fronteira do estudo englobasse desde a produção até a etapa de disposição final da peça, obtendo dados da Volvo Suécia. Devido às limitações temporais, contudo, julgou-se necessário limitar o estudo ao próprio processo produtivo da peça até a destinação ao cliente.

### **4.3. Coleta de Dados**

Definidos, objetivos e escopo deste ACV, foram realizados alguns levantamentos prévios para auxiliar o entendimento do processo antes de iniciar a coleta de dados. Estes são:

- Fluxograma detalhado da cadeia produtiva. Um esquema do processo de fabricação foi desenvolvido (fluxograma do processo), através da ferramenta Microsoft Visio.
- Descrição detalhada de cada etapa desta cadeia, por intermédio de revisão bibliográfica e visitas técnicas às áreas da fábrica;
- Descrição das técnicas de coleta de dados;
- Formulação de uma tabela de coleta de dados para maior praticidade;

Procedeu-se à coleta de dados. Estes foram baseados nas seguintes fontes:

- Dados fornecidos pela empresa, através de pesquisa documental e da base de dados dos setores de processos de produção, de engenharia de produtos, de requisição de materiais e demais áreas de apoio;
- Pesquisa de campo, através de medições e coletas no parque fabril;
- Entrevistas informais com os funcionários da empresa (conhecimento prático);

O material necessário para a coleta dos dados consistirá em equipamentos de proteção individual (EPIs), tais quais: capacete, óculos de proteção, protetores auriculares, sapatos de segurança. Para a anotação das informações: uma tabela de coleta, uma prancheta para sustentá-la, e material de escrita.

Outros equipamentos utilizados na coleta de dados:

- Fita métrica;
- Balança de precisão modelo Marte AY 220 (Capacidade: 220g, Sensibilidade 0,01mg.);
- Balança de precisão modelo Gehaka BG2000 (Carga máxima: 2020g, Sensibilidade 0,01g).

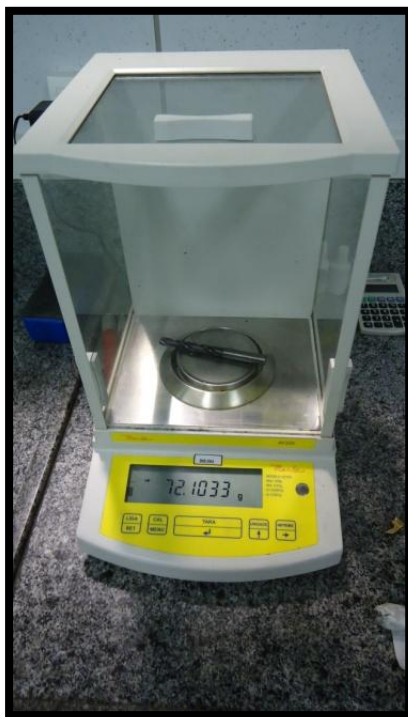


Figura 15 – Pesagem broca Ø10,2mm: balança de precisão modelo Marte AY 220  
Fonte: do Autor

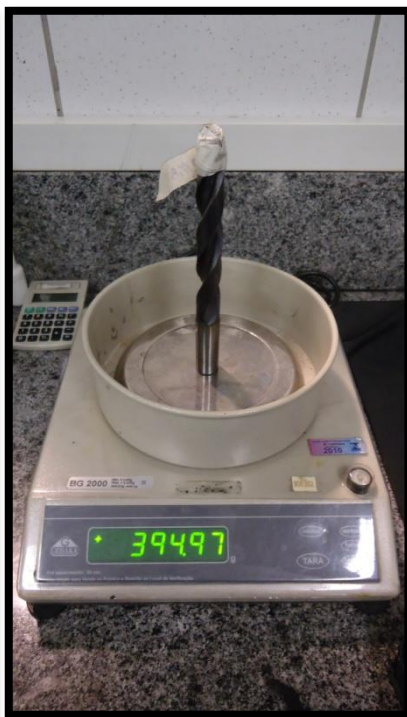


Figura 16 – Pesagem broca KSEM Ø25mm: balança de precisão Gehaka BG2000  
Fonte: do Autor

#### 4.3.1. Definições

Os dados coletados foram divididos em duas categorias:

### 1) *Dados Primários*

Nesta categoria estão todas as informações coletadas em campo, subdivididas em duas subcategorias:

#### a) *Dados Diretos*

Por *dados primários diretos* entendem-se os dados referentes ao processo específico da peça, obtidos em campo ou em pesquisa documental na base de dados da empresa. Ex: Energia elétrica consumida na máquina de usinagem do cubo da roda.

#### b) *Dados Semi Diretos*

São considerados *dados primários semi diretos* aqueles provenientes do macrop processo de produção, entretanto, não são necessariamente referentes ao processo específico da peça. Ex: Energia elétrica consumida nos fornos de fundição.

### 2) *Dados Secundários*

São informações provenientes de um banco de dados de Avaliação de Ciclo de Vida. Ex: Dados do banco de dados *Ecoinvent*.

Durante a coleta de dados a preferência seguiu a ordem de apresentação acima, respeitando a viabilidade de coleta e existência dos dados no local da empresa. Ao final, todos os dados foram compilados no Inventário de Ciclo de Vida.

#### 4.3.2. *Dados Fundição*

A fundição da Schulz S.A. é composta por setores com responsabilidades distintas:

- Fusão: área responsável pela preparação da carga (metal líquido);
- Macharia: setor responsável pela confecção dos machos;
- Moldagem/Vazamento/Desmoldagem;
- Acabamento.

Com o objetivo de verificar os aspectos e impactos relacionados à fundição da peça, foi realizado o acompanhamento de todo o processo de fundição do cubo da roda.

Após a visita, chegou-se a conclusão que alguns resíduos gerados e insumos consumidos na fundição não dependem especificamente da peça a ser produzida, como por exemplo, a escória gerada nos fornos de fundição, ou seja, independentemente da peça a ser produzida a escória será gerada. Nestes casos foram utilizados dados dos indicadores ambientais (*semi-diretos*) referentes à geração de resíduos, estes relacionam mensalmente a geração dos resíduos com a quantidade de toneladas de peças produzidas.

Nos demais casos os dados foram obtidos por pesagem direta ou através do banco de dados *Ecoinvent*.

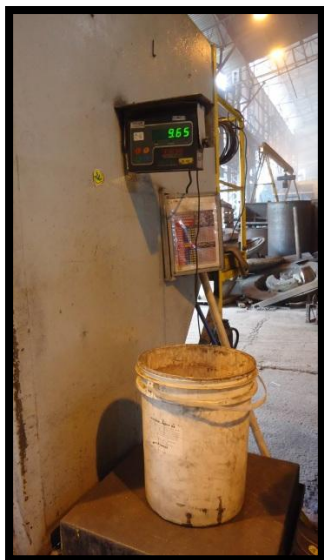


Figura 17 - Pesagem areia da quebra de canal *Fonte: do Autor*



Figura 18 - Areia quebra de canal. *Fonte: do Autor*



Figura 19 - Torrão de areia coletado durante a desmoldagem. *Fonte: do Autor*

#### 4.3.3. *Dados Pintura*

Os dados relativos ao processo de pintura da fábrica foram obtidos através de visita técnica e entrevista com o analista de processos responsável pelo setor.

Devido à inviabilidade de parar o processo de pintura para obtenção de dados, as informações deste setor se encaixam como dados *semi-diretos*, relativos ao processo de pintura como um todo.

Foi discutido três possibilidades para relacionar os dados da produção com o consumo de insumos pela peça:

- Insumos x área pintada;
- Insumos x número de peças pintadas;
- Insumos x Massa de peça pintada;

A primeira opção, insumo *versus* área pintada, ocasionaria o menor erro, contudo, devido à falta de dados como a área total pintada, esta opção foi descartada.

Relacionar o número de peças pintadas e a quantidade de insumos consumidos nos levaria a um erro elevado devido à existência de uma grande variedade de peças, tamanhos e formas.

A solução possível foi relacionar a massa total pintada no processo de pintura eletroforética KTL (2800 toneladas/mês), os insumos consumidos mensalmente e a massa do objeto do estudo.



Figura 20 – Parte do Sistema de Pintura KTL: Tanque de Fosfatização (esq.), Enxágue III, Enxágue IV, Passivador. *Fonte: do Autor*

Os tanques que não geram efluentes para tratamento receberam abordagem diferenciada, sendo considerados os insumos consumidos

mensalmente para manter as concentrações nos tanques e os resíduos gerados pelos tanques.

Por intermédio do programa ISOSYSTEM Waste Management - Manager (v.1.9.0.0), que controla a geração, armazenamento e destinação de resíduos, as informações relativas à geração de resíduos da pintura foram compiladas.

#### **4.3.4. Dados Usinagem**

O setor de usinagem da Schulz S.A. é dividido em módulos; compondo o módulo II, encontra-se a “célula Volvo”: um ambiente específico para produção de peças Volvo. Nesta célula de produção estão as máquinas responsáveis pela usinagem do cubo da roda dianteiro. Visitas técnicas foram realizadas para reunir as informações necessárias para o preenchimento do inventário de ciclo de vida. Diversos profissionais auxiliaram no levantamento de insumos consumidos nas máquinas, assim como informações sobre tempo de usinagem, ferramentas utilizadas na usinagem, entre outros. Todos os dados desta etapa são dados diretos, coletados no local e no processo específico da peça.

Fórmulas utilizadas para o cálculo de consumo de energia elétrica:

$$P = V * i * \cos\phi$$

$$P_{consumida} = \frac{P}{\eta}$$

$$E = P_{consumida} * t$$

Sendo:

*P = Potência ativa em Watts*

*I = Corrente elétrica em Amperes*

*cosϕ = Fator de potência*

*t = Tempo*

*E = Energia elétrica consumida*

*η = Rendimento*

Durante esta etapa, devido à ausência de informações sobre o consumo de fluido de corte, realizamos uma estimativa através de medições do nível de fluido nos reservatórios das máquinas: após preencher o reservatório no nível máximo, aguardamos aproximadamente 5 horas para reabastece-lo ao nível original. Neste intervalo foram produzidas 47 peças e os reservatórios foram preenchidos manualmente com um recipiente de 10 litros. A geração de cavaco foi calculada pela diferença de peso entre a peça bruta e a peça usinada.



Figura 21 - Pesagem peça bruta pintada  
*Fonte: do Autor*



Figura 22 - Pesagem peça usinada *Fonte: do Autor*

#### 4.4. Análise em Laboratório - SimaPro

A análise dos dados coletados foi realizada por intermédio do software SimaPro versão 7.3.2, um programa da empresa Pré-Consultants especializado em avaliações de ciclo de vida, líder de mercado, que permite ao usuário modelar o objeto de com uma abordagem complexa, envolvendo todas as etapas do ciclo de vida do produto.

O SimaPro dispõe de uma vasta base de dados, dentre as opções do programa foi escolhida a base de dados *Ecoinvent*. Segundo GOED-



KOOP<sup>18</sup> (2006) apud FERREIRA (2007), esta possui informações sobre 2500 processos, é uma base de dados atualizada, confiável, divulgada em 2003 e que constitui o resultado de um enorme esforço levado por institutos suíços para atualizar e condensar outras bases de dados existentes.

Além das opções de banco de dados, o SimaPro disponibiliza métodos diferentes de análise. Os principais métodos, segundo Guinée et al. (2002) apud FERREIRA (2007) utiliza algum dos indicadores abaixo:

- *“Indicadores Midpoints: são indicadores definidos perto da intervenção, ou seja, são indicadores baseados em pontos intermediários, conhecidos pela abordagem orientada ao problema. Nesta abordagem são calculadas as causas dos impactos, por exemplo, potencial de toxicidade humana, acidificação, etc.”*

- *“Indicadores Endpoints: são indicadores definidos próximo ao dano ambiental causado, ou seja, são indicadores de pontos finais de categoria, conhecidos pela abordagem orientada ao dano. Nesta abordagem são calculados os efeitos dos impactos, por exemplo, quantos casos de câncer adicionais por ano serão provocados pela emissão de compostos tóxicos, ou qual a perda de biodiversidade causada pela acidificação de uma área, etc.”*

Foi escolhido o método CML 2001, criado pela *Institute of Environmental Sciences*<sup>19</sup> da *Leiden University* (Holanda), o qual utiliza abordagem *midpoint*.

Segundo SOUSA (2008), o CML 2001 é um método clássico, que restringe os modelos quantitativos aos estágios prévios do mecanismo ambiental para limitar incertezas e, classificar e caracterizar os resultados do inventário de ciclo de vida em categorias *midpoint*.

Por se tratar de um programa adquirido pela Universidade Federal de Santa Catarina, esta etapa contou com a colaboração do Grupo de Pesquisa em Análise de Ciclo de Vida (GPACV), o qual forneceu treinamento para o uso do programa.

---

<sup>18</sup> GOEDKOOP, Mark, DE SCHRYDER, An e OELE, Michiel, **Introduction to LCA with SimaPro 7**, Pre-Consultants, 2006

<sup>19</sup> Instituto de Ciências Ambientais, em português.

Dentre as categorias recomendadas pelo CML2001 para a avaliação de impactos ambientais, foram utilizadas:

- Depleção de recursos abióticos;
- Acidificação;
- Eutrofização;
- Aquecimento Global;
- Depleção de ozônio estratosférico;
- Toxicidade humana;
- Ecotoxicidade da água doce;
- Ecotoxicidade marinha;
- Ecotoxicidade terrestre;
- Formação de Ozônio Fotoquímico;

O procedimento básico do software é à entrada de dados, adequação ao método, e geração dos resultados. Este programa gerou os dados e gráficos de impactos para elaboração da Análise de Inventário de Ciclo de Vida (AICV).

## **5. ESTUDO DE CASO – CUBO DA RODA**

Este capítulo irá descrever o processo de produção do cubo da roda e o resultado da coleta de dados; desde os objetivos e escopo até a avaliação final do processo. O estudo de caso foi realizado de acordo com as normas NBR ISO 14040 e NBR ISO 14044.

### **5.1. Objetivo do Estudo**

O objetivo principal deste estudo é identificar a etapa de produção de maior impacto ambiental na fabricação do cubo da roda dianteiro utilizado em caminhões.

O estudo limitou-se ao processo produtivo da empresa Schulz S/A devido ao tempo disponível e dificuldade de acesso a informações sobre a peça fora da empresa. Espera-se, contudo, que trabalhos futuros aumentem a fronteira do estudo, expandindo-a e utilizando informações da empresa destino, Volvo Suécia ou Volvo Curitiba, integrando estudos de ACV sobre a peça.

## 5.2. Escopo do Estudo

O estudo foi realizado no cubo da roda dianteiro produzido pela empresa Schulz S/A para utilização em caminhões da marca Volvo. A peça final pesa em média 24,95 kg.

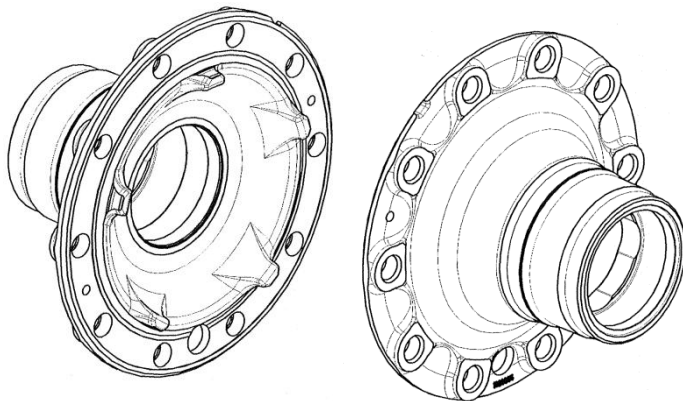


Figura 23 - Desenho do cubo da roda – Fonte: Volvo

### 5.2.1. Função do Sistema de Produto

A função do sistema de produto é transmitir o torque para as rodas do veículo. Nele estão fixados os parafusos de roda e o rolamento de roda.

### 5.2.2. Unidade Funcional

A unidade funcional é uma (1) peça cubo da roda.

### 5.2.3. Fronteiras do Sistema

O presente estudo abordou as seguintes unidades de processo:

- Aquisição de matéria-prima
- Transporte à fábrica
- Fabricação

- ♦ Fundição
- ♦ Pintura
- ♦ Usinagem

A fronteira do sistema pode ser simplificada de acordo com a figura abaixo:



Figura 24 - Fronteiras do estudo

### 5.3. Processo Produtivo

Este capítulo irá detalhar todo o processo de fabricação do cubo de roda e a coleta de dados em cada etapa de produção.

A fabricação da peça pode ser dividida em três macroprocessos, cada macroprocesso possui seus processos elementares.



Figura 25 - Macroprocessos

#### 5.3.1. Fundição

A fundição se inicia com a preparação da areia de moldagem, realizada mecanicamente por misturadores e transportada através de correias até a máquina de moldagem e vazamento.

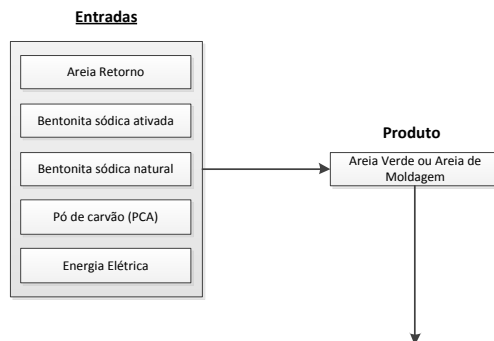


Figura 26 - Composição da Areia de Moldagem

Este processo acontece continuamente na fundição: a areia tem sua composição química corrigida e circula no sistema (areia retorno). No processo de preparação da areia é consumido 0,06538 k.W.h de energia elétrica, referente ao rateio da energia elétrica da fundição (excluído a energia consumida nos fornos) dividida igualmente entre os processos.

Tabela 3 - Areia de Moldagem *Fonte: Engenharia de Processos Fundição Schulz*

Composição da Areia de Moldagem	
Areia Retorno	99,24%
Bentonita Sódica ativada	0,32%
Bentonita Sódica natural	0,32%
Pó de carvão (PCA)	0,12%
Energia elétrica	0,06538. $\frac{kW.h}{molde}$

Simultaneamente à preparação da areia de moldagem, o setor de macharia confecciona os machos, isto é, peças de areia que são acopladas aos moldes para formar cavidades internas das peças. A tecnologia utilizada é a *Cold Box*.

Tabela 4 – Composição do Macho e Emissões Atmosféricas da *Cold Box*

Composição do Macho		Emissões Atmosféricas	
Areia	98,04%	Cianeto	0,1296 mg/pç
Resina Fenólica (Resina parte I)	0,58%	Fenol	7,2 mg/pç
Solução de Isocianatos (Resina parte II)	0,58%	Material Particulado	133,2 mg/pç
Trietilamina (Catalisador)	0,80%	Amônia	0,1008 mg/pç

*Fonte: Engenharia Schulz; Emissões Atmosféricas: Laudo empresa RCLF.*

O macho pesa 3,58kg e utiliza 0,06538 kW.h. para sua produção. O tempo de produção de um macho é de 36 segundos.

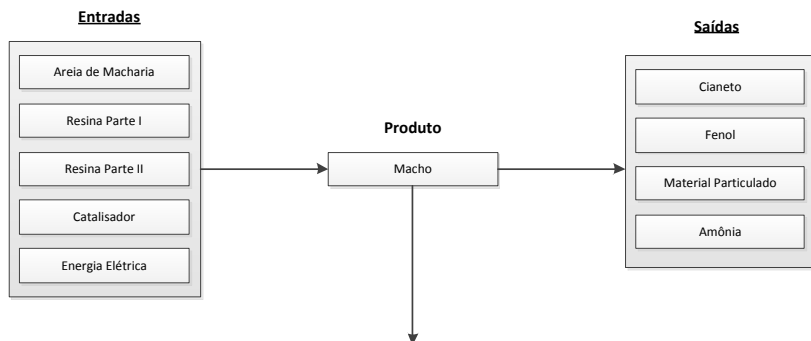


Figura 27 - Processo elementar de confecção do macho

Após esta etapa, a logística da empresa leva a placa negativa da peça, chamada ferramental, até a máquina HWS II (Heinrich Wagner Sinto) responsável pela prensagem do ferramental (figura 28) contra a areia de moldagem, o que dá origem ao molde. Os moldes são compostos por duas caixas: superior e inferior, pesando 650kg e 630 kg cada caixa respectivamente. Um molde completo formará quatro peças

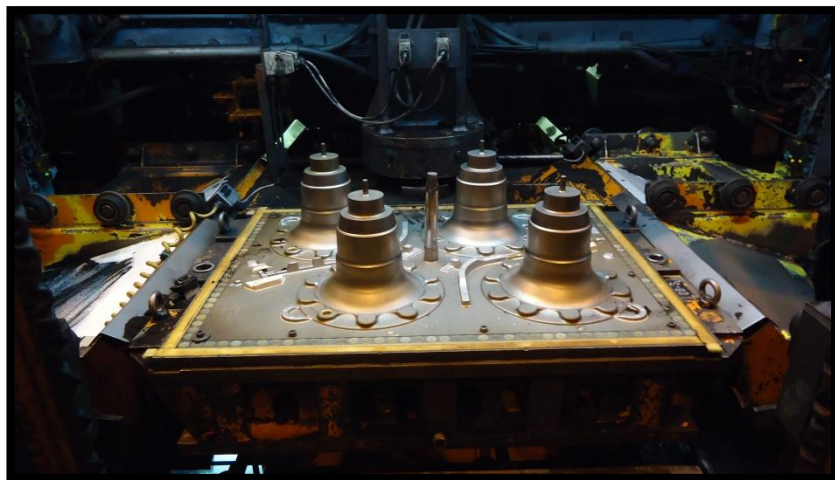


Figura 28 - Ferramental do cubo de roda dianteiro. *Fonte: do Autor*

Podemos observar na Figura 29 a linha de montagem dos moldes (areia escura) após prensagem, onde os machos são encaixados. Também são inseridos nesta etapa dois filtros cerâmicos e quatro luvas térmicas.

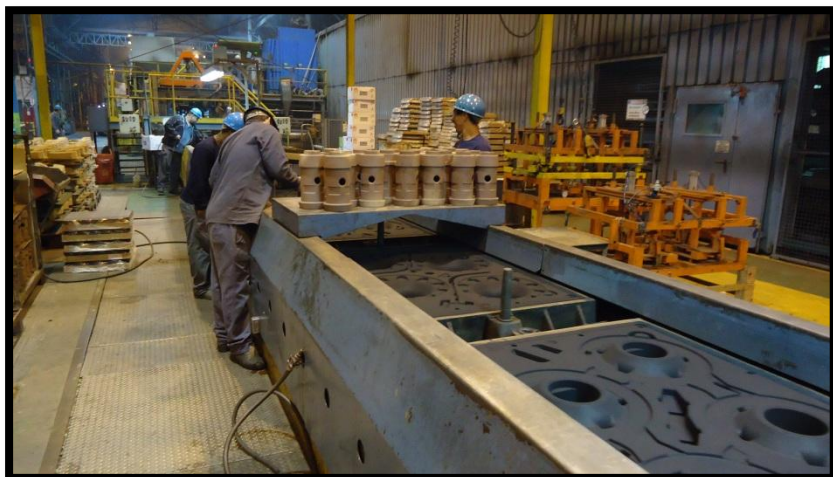


Figura 29 - Linha de montagem HSW II: Colocação dos machos nos moldes de areia  
*Fonte: do Autor*

A fundição Schulz possui fornos elétricos a indução que preparam a carga de metal líquido que será vazada. Abaixo estão as entradas e saídas da composição da carga do forno:

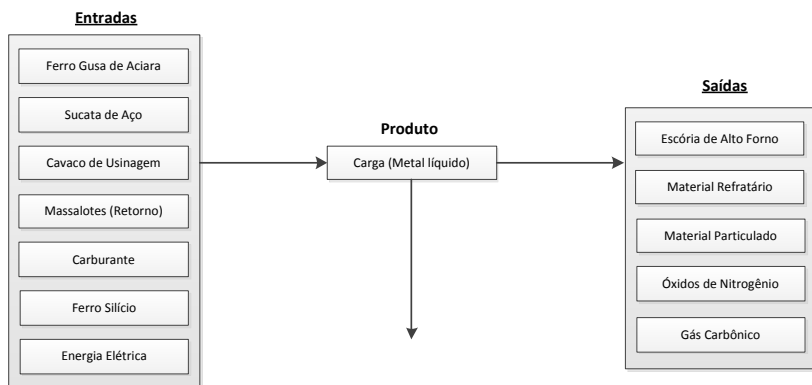


Figura 30 - Composição da Carga, resíduos e emissões atmosféricas geradas no forno.

A carga de metal líquido é transportada até a HWS II, os moldes superior e inferior de areia são unidos e, na mesma máquina, ocorre o vazamento.



Figura 31 - Moldes prontos para o vazamento.  
*Fonte: do Autor*



Figura 33 - Molde após vazamento. *Fonte: do Autor*



Figura 32 – Vazamento *Fonte: do Autor*

A Tabela 5 demonstra toda a composição dos insumos consumidos durante a preparação da carga do dia dezesseis de novembro de 2011:

Tabela 5 - Composição da Carga do Forno *Fonte: Engenharia de Processos Fundição – Schulz*

Fusão	
Ferro Gusa	10%
Sucata de Aço	27,50%
Cavaco de Usinagem	6%
Retorno	55%
Carburante	1,36%
Ferro Silício	0,14%
Energia Elétrica	39,2345 $\frac{kW.h}{Peça\ bruta}$

Cada peça fundida dentro do molde pesa 36 kg com o canal de alimentação, ou massalote. Existem resíduos inerentes à preparação da carga: destaca-se a escória de alto forno, o material refratário utilizado nos fornos e recipientes de transporte das cargas. Para quantifica-los, relacionamos a média de produção destes resíduos durante os anos de 2010 e 2011, a média de metal líquido vazado (2010-2011) e o peso da peça bruta com o canal de alimentação. Em termos de emissões atmosféricas



ricas, utilizamos laudos técnicos de medições realizadas na empresa para quantificar a parcela de responsabilidade da peça em relação ao material particulado emitido e outros gases, vide tabela 6.

Tabela 6 - Preparação da Carga

Resíduos e Emissões Atmosféricas	
Material Refratário	0,403895 kg/pç
Escória de Alto Forno	1,414196 kg/pç
Material Particulado	0,0064 kg/pç
Gás Carbônico	0,02348 kg/pç
Óxidos de Nitrogênio	0,0002677 kg/pç

Após o vazamento, os moldes ficam por cerca de duas horas resfriando até serem desmoldados. A figura demonstra as entradas e saídas do processo elementar *desmoldagem*:

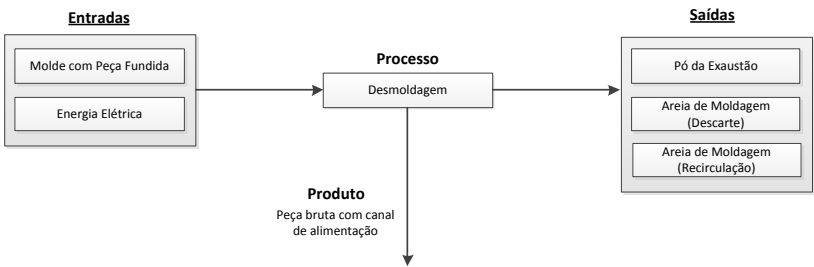


Figura 34 - Entradas e saídas do processo de desmoldagem

Os moldes de areia com a peça fundida passam por uma esteira vibratória, onde a maior parte da areia de moldagem se desprende das peças, é recolhida por calhas e voltam ao sistema, representada na figura 34 por *areia de moldagem (recirculação)*. Nesta etapa, parte da areia também é captada pelo sistema de exaustão e esta, em seguida, é descartada (*Pó da Exaustão*). Existem correções diárias da composição da areia, na qual areia nova é acrescentada no sistema, sendo assim, periodicamente areia de moldagem é descartada para evitar excesso de areia sistema. Para calcular o descarte de areia e pó de exaustão foram utilizados os dados semi-diretos dos indicadores ambientais e planilhas de geração de resíduos

Tabela 7 - Resíduos gerados na desmoldagem

Desmoldagem	
Areia de Moldagem (Descarte)	1,287 kg/pç
Pó da Exaustão	1,351922 kg/pç

A figura 35 ilustra o processo descrito e mostra seu produto: conjunto de peças com canal de alimentação.



Figura 35 – Desmoldagem. Produto: conjunto de quatro peças *Fonte: do Autor*

Este conjunto segue para a etapa de quebra de canal, onde o canal de alimentação é separado das peças. O canal ou massalote pesa 7,22 kg e volta para os fornos de fundição como matéria prima para carga. Neste ponto existe descarte de areia, normalmente torrões de areia que ficam pendurados no conjunto e areia agregada na superfície e cavidades da peça; esta areia é descartada como “areia da quebra de canal”.

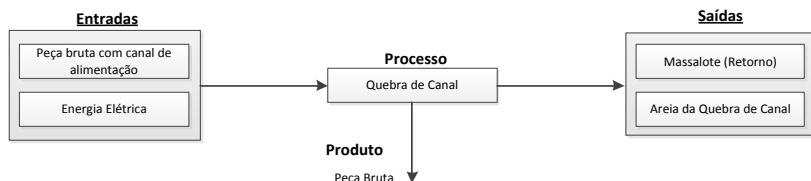


Figura 36 - Processo elementar: Quebra de Canal

Na visita técnica foi observada grande perda de areia de moldagem nesta etapa, devido ao transporte até a quebra de canal e as batidas com martelos para retirada de areia da peça durante a quebra. A fim de identificar especificamente a perda de areia deste processo, foi recolhida uma amostra de areia proveniente de um conjunto de quatro peças: torrões pendurados no conjunto e areia desprendida da peça após as marteladas da quebra de canal. Obtivemos o resultado de 15,01 kg por conjunto de peças, o que representa 3,5725 kg de areia perdida por peça fabricada.

A partir desse momento a peça bruta segue para etapas de acabamento: jateamento e rebarbação. O jateamento de granalha retira a areia agregada na superfície da peça, a rebarbação corrige imperfeições do processo de fundição. Durante o jateamento é captado o *pó do acabamento*, gerando 0,5341 kg de resíduo por peça.



Figura 37 - Peça antes do jateamento  
*Fonte: do Autor*



Figura 38 - Peça pós jateamento *Fonte: do Autor*

As peças jateadas e rebarbadas são encaminhadas para pintura através de caixas de madeira do cliente: Volvo. Estas caixas são utilizadas durante todo o processo de transporte, exceto o transporte da quebra de canal para o acabamento, no qual são utilizados pallets de madeira da própria Schulz S.A.

### 5.3.2. Pintura

O processo de pintura das peças automotivas utiliza a tecnologia de pintura eletroforética, chamado *e-coat* ou KTL.

Este processo se inicia com o carregamento do *skid* com as peças brutas da fundição, em seguida os *skids* são imersos nos tanques da unidade de pintura. A Figura 39 ilustra todas as etapas da pintura. Cada uma das etapas abaixo corresponde a um tanque onde o *skid* é imerso, apenas as etapas de carregamento do *skid*, estufa de secagem e cooler não são tanques de imersão.

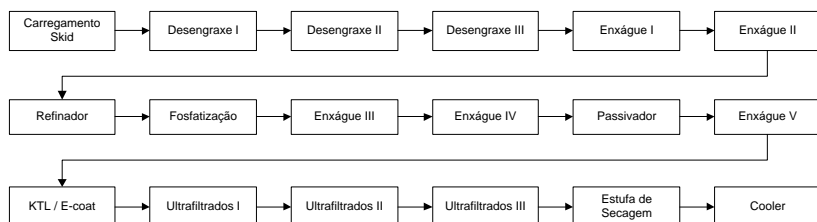


Figura 39 – Processo de Pintura KTL

Durante a visita técnica, foram levantados todos os produtos químicos utilizados nos tanques, o volume de cada tanque e a periodicidade de descarte dos tanques. Com o auxílio das FISPQs – Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos, a composição dos produtos foi adaptada para o software SimaPro. A tabela abaixo compila todos os dados obtidos da visita à pintura:

Tabela 8 - Entradas Pintura KTL

Processo	Volume Tanque	Composição	Periodicidade Descarte
Desengraxe I	5,3m³	5240L - Água 60L - CHEM Clean 1100	15 dias
Desengraxe II	10 m³	9800 L - Água 200 L - CHEM Clean 1100	45 dias
Desengraxe III	10m³	9880 L - Água 120 L - CHEM Clean 1100	15 dias – 5000L 45 Dias – 10.000L
Enxágue I	10m³	10.000L - Água	Semanal
Enxágue II	10m³	10.000L - Água	Semanal
Refinador	10m³	10.000 - Água Deionizada 10,5 kg Fosfato de Titânio	2 vezes por Semana
Fosfatização	16m³	CHEMFOS 700R: 1000L/45 dias CHEMFOS 700B: 200L/ano CHEMFOS 700A: 100L/mês Nitrato de Sódio: 500L/mês	Não é descartado.
Enxágue III	10m³	10.000L - Água Deionizada	Semanal
Enxágue IV	10m³	10.000L - Água Deionizada	Semanal
Passivador	10m³	9925 L - Água Deionizada 75 L - Ácido Fluorzinco	Semanal
Enxágue V	10m³	10.000L - Água Deionizada	Semanal
KTL	14m³	1120L - Pigmentos 1680 L - Resina Epóxi 140L - Butilglicol 11060 L - Água Deionizada	Não é descartado.
Ultrafiltrados I	10m³	9900 - Água Deionizada 100 L - Butilglicol	Não é descartado
Ultrafiltrados II	10m³	9900 - Água Deionizada 100 L - Butilglicol	Não é descartado
Ultrafiltrados III	10m³	9900 - Água Deionizada 100 L - Butilglicol	Não é descartado

Foi considerado que todo o conteúdo dos tanques se transforma em efluente para estação de tratamento de esgoto. Os tanques que não operam com descarte periódico geram outros tipos de resíduos: Borra de fosfato no tanque de fosfatização e troca filtros nos tanques ultrafiltrados. Para o tanque de pintura, KTL, foi admitido que seu volume diminui de acordo com as peças pintadas, pois parte da sua composição fica aderida nas peças, não gerando efluente.

Em síntese, os tanques: desengraxe, enxágue (Figura 40), “refinador”, fosfatização (Figura 41) e passivador, preparam a peça para a pintura.



Figura 40 - Enxágue I. *Fonte: do Autor*



Figura 41 – Fosfatização. *Fonte: do Autor*

O único tanque com pigmento foi o denominado KTL, de mesmo nome do processo. Após este tanque, os processos de ultrafiltração, estufa e cooler podem ser considerados pós-pintura.

Laudos técnicos sobre emissões atmosféricas relacionaram os gases captados pelo exaustor, proporcionando a seguinte tabela:

Tabela 9 - Emissões Atmosféricas KTL

Emissões	
CO	65,59 mg/pç
NOx	13,248 mg/pç
Hidrocarbonetos	12,589 mg/pç

Em relação aos resíduos, chegamos ao seguinte levantamento:

Tabela 10 - Geração do resíduo borra de fosfato

Borra de Fosfato									
Mês	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Média
Quant. (kg/mês)	958	799	892	1226	459	777	1111	556	847,25

Dividindo a média pelo peso de peças pintadas no mês, facilmente encontramos a relação de quilograma de resíduo por quilograma de peça pintada.

Os filtros utilizados na ultrafiltração são repostos a cada 15 dias, pesando 5 kg cada. A geração de efluente foi calculada seguindo a mesma lógica do resíduo borra de fosfato, gerando a tabela 11:

Tabela 11 - Geração de Efluente Pintura

Processo	Efluente (L/peça)	
Desengraxe I	0,082615	
Desengraxe II	0,068433	
Desengraxe III	0,077089	
Enxágue	0,411142	
Refinador	0,822280	
Fosfatização <sup>20</sup>	CHEMFOS 700R	0,006850
	CHEMFOS 700B	0,000171
	CHEMFOS 700A	0,001028
	Nitrito de Sódio	0,005139
Passivador	0,411139	



Figura 42 - Tanque de pintura KTL/e-coat. Fonte: do Autor

<sup>20</sup> Fosfatização: contabiliza os consumos de produtos químicos, pois o mesmo não gera efluente industrial.

### 5.3.3. Usinagem

A usinagem da peça é realizada por três máquinas:

- Torno Vertical HWACHEON VT-550R
- Torno Vertical EMAG VSC 500
- Centro de Usinagem Vertical CHIRON FZ 15W

Cada máquina realiza uma operação diferente de usinagem, as duas primeiras com insertos de metal duro, torneando a peça. A última operação utiliza brocas para perfuração e insertos.

O setor de ferramentaria disponibilizou o quadro de ferramentas utilizadas pelas máquinas de usinagem do cubo de roda; amostras foram pesadas e a vida útil de cada uma delas foi conferida em campo com os operadores.



Figura 43 - Ferramentas utilizadas na usinagem da peça 208.38 - Cubo de Roda *Fonte: do Autor*

Todas as operações utilizam fluido de corte, para refrigerar e lubrificar. O principal resíduo gerado é o cavaco de usinagem que passa por processo de centrifugação antes de voltar como matéria prima para a carga do forno, este foi contabilizado de acordo com a diferença de peso da peça bruta e peça usinada. Os insertos e brocas possuem vida útil limitada e são descartados. A tabela abaixo relaciona os pesos das ferramentas utilizados em cada máquina e sua vida útil:

Tabela 12 - Insumos consumidos pelas máquina VT 550R e VSC 500 e CHIRON FZ15W

Máquina	Ferramenta	Peso	Vida Útil
VT 550R	Inserto - 404.0454-1	20,6453g	40 peças
	Inserto - 407.0457-1	9,0332g	40 peças
	Inserto - 404.0966-1	7,6085g	60 peças
	Grampo - 407.1742-1	20,5863g	Meses
	Grampo - 407.1797-1	5,2624g	Meses
	Calço - 407.1825-1	0,010 kg	Meses
	Pino - 407.1824-1	3.0827g	Meses
VSC 500	Inserto - 404.0456-1	16,2713g	60 peças
	Inserto - 404.0454-1	20,6453g	60 peças
	Inserto - 404.0492-1	9,9171 g	180 peças
	Inserto - 404.0966-0	7,6085g	120 peças
	Inserto - 404.0501-1	0,010 kg	120 peças
	Grampo - 407.1742-1	5,2624g	Meses
	Calço - 407.2418-1	Desprezível	Meses
	Pino - 407.1824-1	3.0827g	Meses
CHIRON FZ15W	Broca Ø25mm	394,67 g	800 peças
	Escariador 45°	7,6085 g	1000 peças
	Macho M12 x 1,75mm	44,5859 g	600 peças
	Alargador Ø25,28mm	<0,010g	1500 peças
	Broca Ø10,2mm	72,1032 g	1000 peças

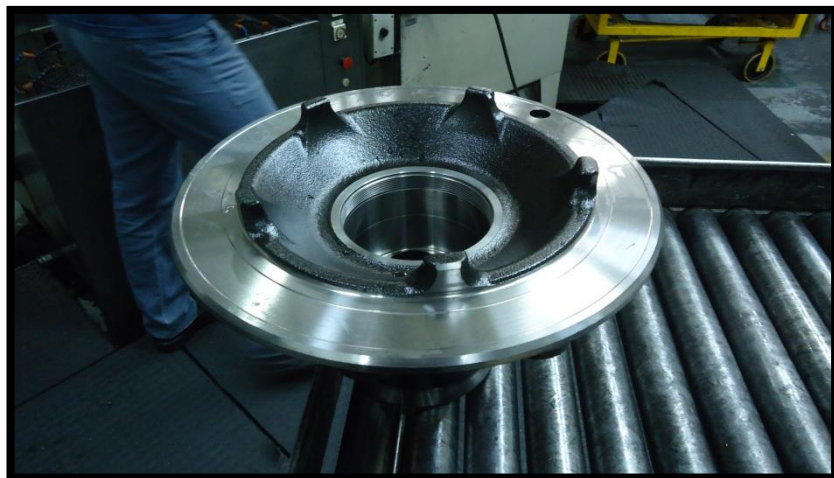


Figura 44 - Peça após máquina VSC 500. Fonte: do Autor



Para determinar o consumo de energia elétrica montamos a tabela 13:

Tabela 13 - Dados Máquinas Usinagem

Equipamento	Tensão (V)	Corrente (A)	Potência (kVA)	Potência (kW)	Tempo de Usinagem (min/pc)	Consumo de Energia (kW.h)
Torno Vertical HWACHEON VT-550R	380	115	75	60	5,57	6,553
Torno Vertical EMAG VSC 500	380	85	56	45	6,32	5,5764
Centro de Usinagem Vertical CHIRON FZ 15W	380	40	28	22,4	4,22	1,8535

Após as três máquinas de usinagem, a peça é lavada e oleada. A figura abaixo demonstra o fluxograma de toda usinagem.

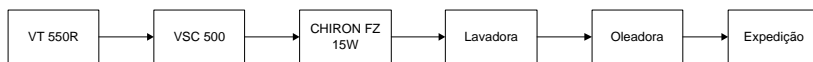


Figura 45 - Fluxograma Usinagem

A célula de usinagem tem capacidade de produzir 200 peças por dia, dado utilizado para calcular a contribuição da geração de efluente de lavação. A máquina lavadora é composta de 200 litros de água e 20 litros de desengraxante, renovados mensalmente, consequentemente a contribuição de uma peça para a geração de efluente é de 0,05 litros por peça. O óleo protetivo foi medido diretamente, pesando a mesma peça após lavação sem óleo e depois com óleo.



Figura 46 – Oleadora.  
Fonte: do Autor



Figura 47 – Lavadora.  
Fonte: do Autor



Figura 48 - Cavaco de Usinagem. Fonte: do Autor

A última etapa é a expedição, quando os operadores recolocam as peças usinadas nas caixas de madeira do cliente Volvo, envolvendo a caixa e as peças com plásticos.

Tabela 14 - Plástico Expedição

Expedição	
Plástico Interno	0,13688 kg/pç
Plástico Externo	0,0302979 kg/pç

#### 5.3.4. *Dados não coletados e outras considerações*

Algumas entradas e saídas do processo produtivo do cubo de roda não foram consideradas, seja por dificuldade de coleta ou pela pouca representatividade no montante final.

No processo de fundição, durante a preparação do molde é utilizado desmoldante em aerossol, sua coleta não foi realizada pela dificuldade em precisar o baixíssimo volume utilizado por molde. Ainda nesta etapa, não foi possível precisar a composição das luvas térmicas devido a segredos industriais do fornecedor.

Após a etapa de quebra de canal, a peça é transportada por pallets de madeira da empresa Schulz; esta entrada se mostrou um grande problema em termos de coleta, pois os operadores utilizam o mesmo pallet de madeira para transportar uma diversidade de peças e, ainda segundo os operadores, a vida útil de um pallet é muito variável, podendo ficar inutilizado na primeira viagem ou na vigésima. Também não foi possível estimar o consumo de madeira pelos indicadores ambientais de descarte da empresa, pois este não era segregado entre *Schulz Automotiva* e *Schulz Compressores*, como o consumo do setor de compressores é muito maior do que o setor automotivo, portanto, se adotássemos a média estaríamos superestimando o descarte de madeira.

Outra entrada que não foi possível coletar é o consumo de rebolo no acabamento das peças, precisaríamos relacionar a composição da areia de moldagem com a quantidade de rebarbas, pois ambas estão conectadas. Além disso, a visita técnica foi realizada no final do ano, por conseguinte, não havia tempo hábil para planejarmos outra visita especialmente para coletar estes dados.

Na pintura, estimamos o peso da tinta por diferença de peso entre a peça bruta (dado fornecido pela engenharia) e o peso da peça pintada (coletado em campo). Este dado pode apresentar um erro alto devido as variações que existem entre as peças fundidas, no entanto, seria inviável

parar o processo de pintura para pesagem, então consideramos esta aproximação uma solução moderada para o conflito.

O setor de usinagem apresentou apenas um entrave: quantificar a perda de fluido de corte. Informações dos colaboradores e engenheiros do setor diziam que este dado seria de difícil coleta, pois não existe controle, os operadores das máquinas abastecem de acordo com a necessidade de cada máquina, sendo o fluido oriundo diretamente da rede de abastecimento. As perdas neste setor se dão pelo arraste e evaporação; a parte de fluido de corte arrastada com o cavaco é levada para uma máquina centrífuga. A solução encontrada foi considerar o fluido de corte arrastado como um efluente para tratamento, pois seu volume comparado ao fluido que recicla na máquina é pequeno.

Para expedição do cubo de roda, as caixas de madeira Volvo não foram consideradas pois o acesso à vida útil das mesmas dependia da própria montadora em Curitiba então, entendemos que esta entrada e saída se dá fora do escopo de trabalho do presente estudo.

### 5.3.5. *Transporte*

Para este estudo foram considerados os transportes de matéria prima, produtos químicos até a fabrica Schulz S.A., desconsiderando o transporte da peça e de produtos químicos dentro da fábrica. A origem dos produtos foi obtida por intermédio do setor de compras da empresa, e a distância percorrida, simulamos rotas padrão no Google Maps.

Tabela 15 - Transporte de Insumos e Matéria Prima

Insumo	Origem	Distância Percorrida	Transporte	Combustível
Areia	Araquari/SC	131 km	Caminhão Grande Porte	Óleo Diesel
Ferro Gusa	Pitangui/MG	1086 km	Caminhão Grande Porte	Óleo Diesel
Produtos Químicos	Sumaré/SP	603km	Caminhão Médio Porte	Óleo Diesel

## 5.4. Resultados

Neste capítulo estão descritos as etapas finais da ACV: compilação e análise do inventário do ciclo de vida e a interpretação do inventário após inserção dos dados no programa SimaPro.

### 5.4.1. Inventário de Ciclo de Vida (ICV)

O inventário é constituído de dados de entrada e saída do sistema de produção do cubo de roda; a reunião de todos os valores de matérias e energias que entram e saem da fronteira do sistema. As tabelas abaixo reúnem todos os dados fornecidos no capítulo 5.3. O anexo 1 deste trabalho contém a planilha preenchida em campo para produção deste inventário.

Tabela 16 - Entradas no processo de produção do cubo de roda

Entradas	Descrição Técnica	Valor	Unidade
Areia de Macharia	Areia 98,04% Resina Fenólica 0,58% Solução de Isocianatos 0,58% Trietilamina 0,80%	3,58	kg/peça
Areia de Moldagem	Areia retorno 99,24% Bentonita sódica natural 0,32% Bentonita sódica ativada 0,32% Pó de carvão (PCA) 0,12%	320	kg/peça
Carga (Metal Líquido)	Ferro Gusa de Aciara 10% Sucata de Aço 27,50% Cavaco de Usinagem 6% Retorno 55% Carburante 1,36% Ferro Silício 0,14%	36	kg/peça
Energia Elétrica	Energia fornecida pela rede pública	53,74	kW.h/peça
Água	Água tratada fornecida pela rede pública.	0,678	L/peça
Água Deionizada	Água tratada fornecida pela rede pública após processo de deionização na empresa.	2,055	L/peça
CHEMFOS 700A	Ácido fosfórico 5 – 10% Fosfato de zinco 5 – 10% Fosfato de manganês 5 – 10% Fosfato de potássio 0,1 – 5% Nitrato de níquel 0,1 – 5% Nitrato de zinco 0,1 – 5% Fluoreto complexado 0,1 – 5% Água: Balanço	0,00103	L/peça
CHEMFOS 700B	Fosfato de sódio 15 – 20% Fosfato de potássio 15 – 20% Nitrato de sódio < 5% Água: Balanço	0,000171	L/peça
CHEMFOS	Nitrato de níquel 1 – 5%	0,00685	L/peça

700R	Óxido de zinco 7 – 13% Composto de manganês 0,1 – 1,0 % Ácido fosfórico 15 – 40% Ácido nítrico 1 – 5%		
Nitrito de Sódio	Produto químico utilizado na Fosfatização.	0,005139	L/peça
Desengraxante	Desengraxante solúvel em água. Composição não disponível na FISPQ.	0,007791	L/peça
Ácido Fluor-zircônio	Produto químico utilizado na passivação	0,00308	L/peça
Resina Epóxi	Resina líquida utilizada no processo de pintura automotiva.	0,062854	L/peça
Butilglicol	Utilizado diluído em água e adicionado ao banho <i>E-coat</i> .	0,005236	L/peça
Pigmento	Pigmento automotivo.	0,0419	L/peça
Fluido de Corte	Fluido de usinagem	2,127	L/peça
Insertos	Insertos de metal duro utilizados na usinagem.	0,003752	kg/peça
Brocas	Brocas de metal duro responsáveis pela usinagem da peça.	0,000639	kg/peça
Óleo Protetivo	RUST VETO DW 905: Solvente alifático 85 – 90% Glicol 2 – 4%	0,01	L/peça
Plástico	Polietileno de Baixa Densidade	0,167178	Kg/peça

Tabela 17 - Saídas de toda produção da peça

Saída	Descrição Técnica	Valor	Unidade	Destino
Cianeto	Emissão Atmosférica no preparo do Macho	0,0001296	g/peça	Atmosfera
Fenol	Emissão Atmosférica no preparo do Macho	0,0072	g/peça	Atmosfera
Material Particulado	Emissão Atmosférica no preparo do Macho	0,1332	g/peça	Atmosfera
NH3	Emissão Atmosférica no preparo do Macho	0,0001008	g/peça	Atmosfera
Material Refratário	Emissão Atmosférica no preparo da Carga do Forno	0,403895	kg/peça	Aterro
Escória	Emissão Atmosférica no preparo da Carga do Forno	1,414196	kg/peça	Aterro
Material Particulado	Emissão Atmosférica no preparo da Carga do Forno	0,0064	kg/peça	Atmosfera
CO2	Emissão Atmosférica no preparo da Carga do Forno	0,02348	kg/peça	Atmosfera
NO(x)	Emissão Atmosférica no preparo da Carga do Forno	0,0002677	kg/peça	Atmosfera
Pó da Exaustão	Pó captado nos exaustores da esteira de desmoldagem.	1,351922	kg/peça	Aterro
Areia de Moldagem	Areia retirada do sistema para evitar excesso de areia.	1,287	kg/peça	Aterro
Areia de Moldagem (Recirculação)	Areia recuperada após a desmoldagem	313,788	kg/peça	Volta para o sistema

Retorno (Canais de Alimentação)	Canal de alimentação formado após o vazamento do metal líquido.	7,22	kg/peça	Matéria Prima do Forno
Areia da Quebra	Areia retirada na separação do canal e peças.	3,5725	kg/peça	Aterro
Pó do acabamento	Pó de granalha de aço captado pelos exaustores.	0,5341	kg/peça	Aterro
Água	Água tratada fornecida pela rede pública.	0,678	L/peça	Tratamento de Efluentes
Água Deionizada	Água tratada fornecida pela rede pública após processo de deionização na empresa.	2,055	L/peça	Tratamento de Efluentes
Desengraxante	Desengraxante solúvel em água. Composição não disponível na FISPQ.	0,007791	L/peça	Tratamento de Efluentes
Ácido Fluorizircônio	Produto químico utilizado na passivação	0,00308	L/peça	Tratamento de Efluentes
Borra de Fosfato	Resíduo da fosfatização.	0,0087085	kg/peça	Aterro
Filtros	Filtros de polietileno de alta densidade	0,00072	kg/peça	Aterro
Insertos	Insertos de metal duro utilizados na usinagem.	0,003752	kg/peça	Aterro
Brocas	Brocas de metal duro responsáveis pela usinagem da peça.	0,000639	kg/peça	Aterro

#### **5.4.2. Análise do Inventário de Ciclo de Vida**

Para a realização da Análise de ICV foi utilizado o método CML 2001 através do software SimaPro. As categorias do CML 2001 utilizadas foram: Depleção de recursos abióticos; Acidificação; Eutrofização; Aquecimento Global; Depleção de ozônio estratosférico; Toxicidade humana; Ecotoxicidade da água doce; Ecotoxicidade marinha; Ecotoxicidade Terrestre e Formação de Ozônio Fotoquímico.

Nos próximos subitens serão apresentados os gráficos referentes às participações dos processos e produtos no impacto final sob cada categoria disposta acima.

##### **5.4.2.1. Impactos Ambientais**

Ao todo são dez categorias de impactos ambientais analisados para esta Análise de Inventário de Ciclo de Vida. A totalidade dos impactos foi primeiramente dividida entre os três macroprocessos de produção, isto é: fundição, pintura e usinagem:

Tabela 18 - Contribuição dos macroprocessos de produção da peça para os impactos ambientais: valores absolutos

<b>Categoria de Impacto</b>	<b>Unidade</b>	<b>Fundição</b>	<b>Pintura</b>	<b>Usinagem</b>
Depleção de recursos abióticos;	kg Sb eq	1,26E-01	4,50E-03	9,36E-02
Acidificação;	kg SO2 eq	5,63E-02	3,19E-03	2,80E-02
Eutrofização;	kg PO4--- eq	2,38E-02	6,38E-04	1,28E-02
Aquecimento Global;	kg CO2 eq	2,15E+01	5,16E-01	8,35E+00
Depleção de ozônio estratosférico;	kg CFC-11 eq	1,16E-06	1,38E-08	1,65E-06
Toxicidade humana;	kg 1,4-DB eq	1,06E+01	2,34E-01	2,94E+00
Ecotoxicidade da água doce;	kg 1,4-DB eq	5,71E+00	4,20E-02	9,50E-01
Ecotoxicidade marinha;	kg 1,4-DB eq	8,68E+03	5,91E+01	2,57E+03
Ecotoxicidade terrestre;	kg 1,4-DB eq	9,22E-02	3,09E-03	3,76E-02
Formação de Ozônio Fotoquímico <sup>21</sup> ;	kg C2H4 eq	7,40E-03	1,07E-04	2,08E-03

Tabela 19 - Participação percentual dos macroprocessos de produção nos impactos ambientais

<b>Categoria de Impacto</b>	<b>Unidade</b>	<b>Fundição</b>	<b>Pintura</b>	<b>Usinagem</b>
Depleção de recursos abióticos;	kg Sb eq	56,20%	2,01%	41,79%
Acidificação;	kg SO2 eq	64,37%	3,65%	31,98%
Eutrofização;	kg PO4--- eq	63,98%	1,71%	34,30%
Aquecimento Global;	kg CO2 eq	70,82%	1,70%	27,49%
Depleção de ozônio estratosférico;	kg CFC-11 eq	41,09%	0,49%	58,42%
Toxicidade humana;	kg 1,4-DB eq	77,03%	1,69%	21,28%
Ecotoxicidade da água doce;	kg 1,4-DB eq	85,20%	0,63%	14,17%
Ecotoxicidade marinha;	kg 1,4-DB eq	76,72%	0,52%	22,76%
Ecotoxicidade terrestre;	kg 1,4-DB eq	69,40%	2,33%	28,27%
Formação de Ozônio Fotoquímico;	kg C2H4 eq	77,21%	1,12%	21,67%

Ao analisar a Tabela 19 podemos concluir de um modo geral, que a fundição é a atividade que sob todas as categorias de impacto que contribui mais para o impacto final.

A Figura 49 ilustra esta divisão na participação final dos impactos, seguida da figura 50, que discrimina a distribuição de impactos entre os processos elementares de produção da peça. A cor vermelha representa os processos do setor de fundição, verde pintura e azul usinagem.

<sup>21</sup> Formação de ozônio fotoquímico também pode ser classificada como formação fotoquímica de oxidante.

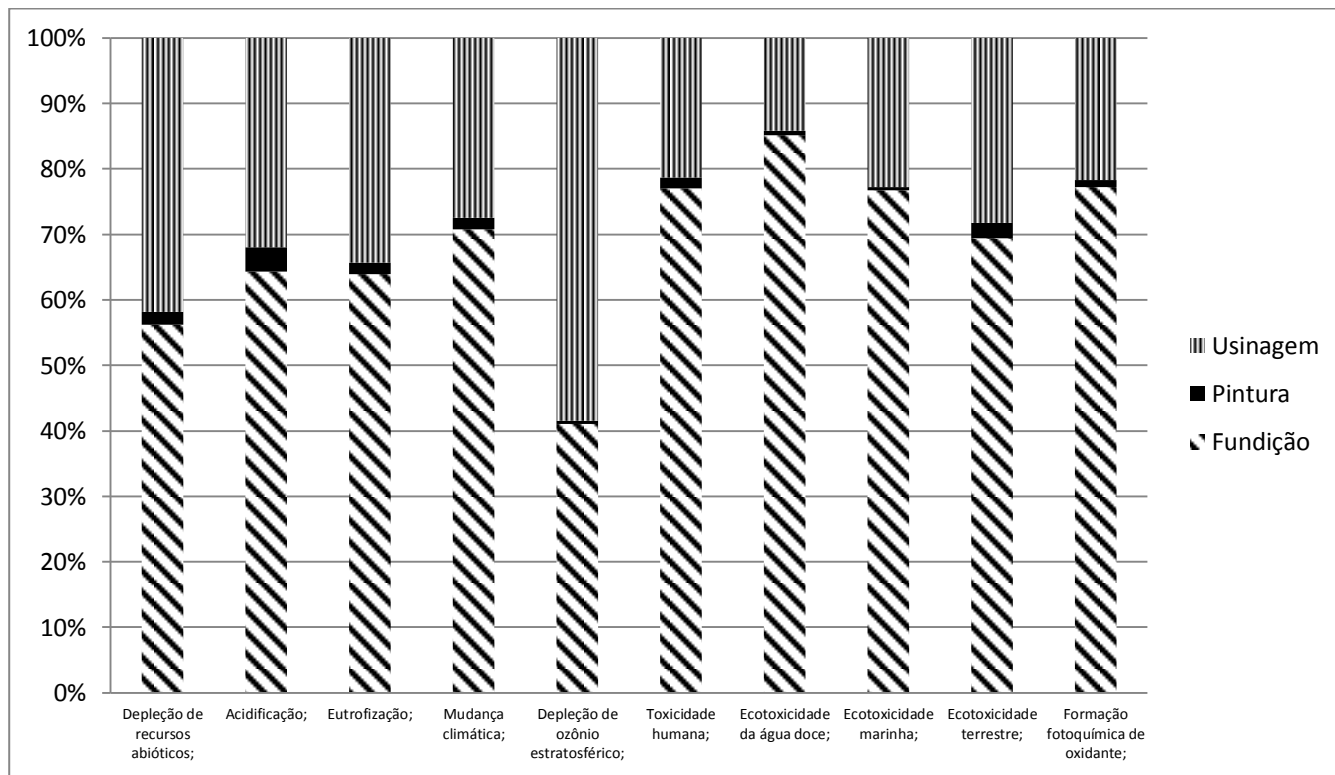


Figura 49 - Participação dos Macroprocessos nas Categorias de Impacto Analisadas



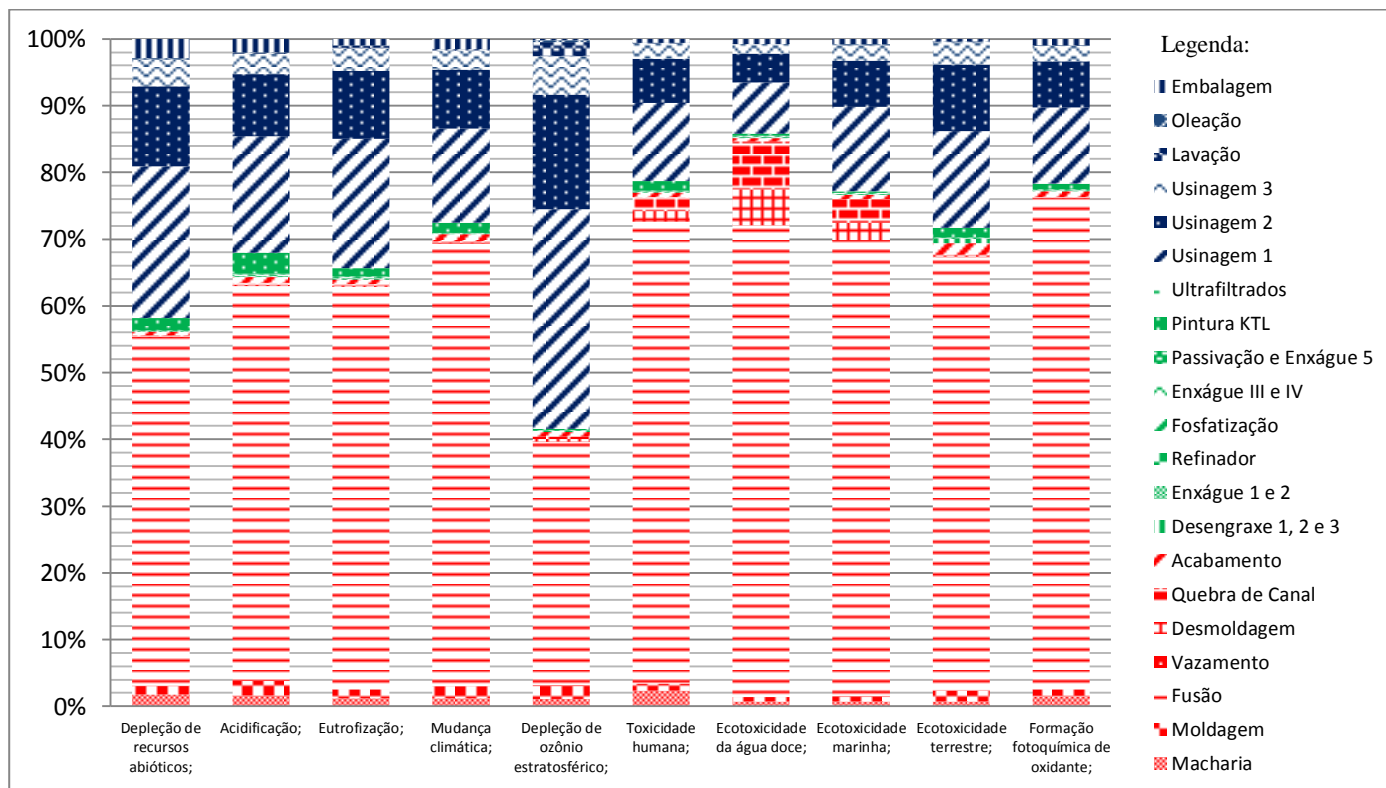


Figura 50 - Distribuição dos Impactos entre os processos elementares

A figura 50 evidencia o processo de fusão como responsável principal por grande parte dos impactos de todo o processo, seguido dos processos de usinagem 1 e 2. Notamos que a pintura exerce pouca influência nos valores absolutos de impactos ambientais, confirmando o marketing existente no processo *E-coat* de pintura: ambientalmente correta.

Esperávamos de certa forma este resultado, pois o setor de fundição de fato é o ambiente mais agressivo da empresa. Além disso, outros fatores como consumo elevado de energia elétrica e grande geração de resíduos contribuem para a parcela de contribuição deste setor.

Ao contrário do que imaginávamos, no setor de usinagem, os incertos e brocas consumidas pouco representam no montante final de impactos, sendo o fluido de corte o grande responsável pelos impactos deste setor. Este resultado é interessante pois aponta como maior causador de impacto o insumo que é consumido sem controle, ou seja, existe grande campo de atuação no intuito de diminuir estes impactos.

Destaca-se que a quantidade de fluido de corte utilizada pelas máquinas é variável, contudo, notamos que a Usinagem 3 possui o menor impacto entre as três máquinas e está é justamente o equipamento mais moderno dentre os três que são utilizados para usinagem.

As tabelas 20 e 21 são resultado do cálculo realizado no software SimaPro e mostram em números absolutos e percentuais a contribuição de cada processo elementar para os impactos ambientais avaliados:

O subitem 5.4.3 avalia cada categoria individualmente.

Tabela 20 - Contribuição dos processos elementares nas categorias de impacto em valores absolutos.

Processos Elementares		Categorias de Impacto				
		Depleção abiótica	Acidificação	Eutrofização	Aquecimento Global	Depleção de Ozônio Estratosférico
Fundição	Macharia	3,95E-03	1,44E-03	4,46E-04	3,71E-01	3,17E-08
	Moldagem	3,14E-03	1,87E-03	5,07E-04	5,48E-01	5,88E-08
	Fusão	1,17E-01	5,17E-02	2,25E-02	2,02E+01	1,03E-06
	Vazamento	3,98E-05	1,46E-05	4,77E-06	1,48E-02	5,53E-10
	Desmoldagem	3,95E-04	2,01E-04	6,44E-05	4,70E-02	8,69E-09
	Quebra de Canal	4,81E-04	2,53E-04	8,07E-05	4,36E-02	1,10E-08
	Acabamento	1,24E-03	7,51E-04	2,44E-04	3,45E-01	1,91E-08
Pintura	Desengraxe 1, 2 e 3	8,74E-05	3,82E-05	1,66E-05	8,71E-03	5,13E-10
	Enxágue 1 e 2	6,16E-06	5,93E-06	1,26E-05	9,96E-04	5,30E-10
	Refinador	2,34E-05	5,69E-05	3,82E-05	4,77E-03	7,58E-10
	Fosfatização	1,73E-04	2,16E-04	5,91E-05	2,83E-02	5,21E-09
	Enxágue III e IV	6,16E-06	5,93E-06	1,26E-05	9,96E-04	5,30E-10
	Passivação e Enxágue 5	3,12E-05	1,24E-04	1,90E-05	4,51E-03	7,02E-10
	Pintura KTL	4,14E-03	2,73E-03	4,79E-04	4,66E-01	5,59E-09
Usinagem	Ultrafiltrados	2,40E-05	4,73E-06	3,98E-07	1,39E-03	2,04E-12
	Usinagem 1	5,09E-02	1,52E-02	7,22E-03	4,29E+00	9,33E-07
	Usinagem 2	2,69E-02	8,12E-03	3,78E-03	2,66E+00	4,86E-07
	Usinagem 3	8,95E-03	2,71E-03	1,26E-03	8,87E-01	1,62E-07
	Lavação	1,55E-04	5,71E-05	1,54E-04	5,63E-02	5,98E-08
	Oleação	4,25E-04	1,15E-04	2,51E-05	1,28E-02	7,89E-09
	Embalagem	6,28E-03	1,73E-03	3,34E-04	4,45E-01	5,07E-09
<b>Total</b>		<b>2,24E-01</b>	<b>8,74E-02</b>	<b>3,72E-02</b>	<b>3,04E+01</b>	<b>2,83E-06</b>

Processos Elementares		Categorias de Impacto				
		Toxicidade Humana	Ecotoxicidade Água doce	Ecotoxicidade Marinha	Ecotoxicidade terrestre	Formação de Ozônio Fotoquímico
Fundição	Macharia	3,35E-01	5,12E-02	8,74E+01	9,34E-04	1,46E-04
	Moldagem	1,45E-01	4,54E-02	9,69E+01	2,24E-03	1,01E-04
	Fusão	9,55E+00	4,74E+00	7,71E+03	8,63E-02	7,05E-03
	Vazamento	3,25E-03	8,66E-04	1,91E+00	1,05E-04	3,26E-06
	Desmoldagem	2,17E-01	3,58E-01	3,00E+02	2,21E-04	1,02E-05
	Quebra de Canal	2,89E-01	4,84E-01	4,04E+02	1,57E-04	9,44E-06
	Acabamento	9,20E-02	3,44E-02	7,94E+01	2,30E-03	8,19E-05
Pintura	Desengraxe 1, 2 e 3	4,89E-03	3,49E-03	3,37E+00	8,84E-04	5,70E-06
	Enxágue 1 e 2	1,17E-03	6,26E-04	1,03E+00	1,79E-05	2,64E-07
	Refinador	4,34E-03	4,17E-03	5,49E+00	3,31E-05	2,35E-06
	Fosfatização	1,56E-02	9,52E-03	1,82E+01	1,54E-04	8,36E-06
	Enxágue III e IV	1,17E-03	6,26E-04	1,03E+00	1,79E-05	2,64E-07
	Passivação e Enxágue 5	3,34E-03	1,54E-03	3,01E+00	4,35E-05	5,06E-06
	Pintura KTL	2,03E-01	2,20E-02	2,69E+01	1,94E-03	8,50E-05
Usinagem	Ultrafiltrados	5,62E-05	2,16E-05	2,12E-02	1,10E-07	4,46E-07
	Usinagem 1	1,61E+00	5,14E-01	1,43E+03	1,92E-02	1,09E-03
	Usinagem 2	9,20E-01	2,87E-01	7,81E+02	1,33E-02	6,62E-04
	Usinagem 3	3,07E-01	9,60E-02	2,61E+02	4,44E-03	2,21E-04
	Lavação	1,46E-02	2,02E-03	4,07E+00	1,04E-04	6,68E-06
	Oleação	1,09E-02	3,51E-03	1,06E+01	5,47E-05	6,38E-06
	Embalagem	7,02E-02	4,69E-02	8,80E+01	4,23E-04	8,74E-05
Total		1,38E+01	6,70E+00	1,13E+04	1,33E-01	9,59E-03

Tabela 21 - Contribuição percentual dos processos elementares nas categorias de impacto ambiental.

Processos Elementares		Categorias de Impacto				
		Depleção abiótica	Acidificação	Eutrofização	Aquecimento Global	Depleção de Ozônio Estratosférico
Fundição	Macharia	1,76%	1,65%	1,20%	1,22%	1,12%
	Moldagem	1,40%	2,14%	1,36%	1,80%	2,08%
	Fusão	52,07%	59,20%	60,36%	66,31%	36,51%
	Vazamento	0,02%	0,02%	0,01%	0,05%	0,02%
	Desmoldagem	0,18%	0,23%	0,17%	0,15%	0,31%
	Quebra de Canal	0,21%	0,29%	0,22%	0,14%	0,39%
	Acabamento	0,55%	0,86%	0,66%	1,13%	0,67%
Pintura	Desengraxe 1, 2 e 3	0,04%	0,04%	0,04%	0,03%	0,02%
	Enxágue 1 e 2	0,00%	0,01%	0,03%	0,00%	0,02%
	Refinador	0,01%	0,07%	0,10%	0,02%	0,03%
	Fosfatização	0,08%	0,25%	0,16%	0,09%	0,18%
	Enxágue III e IV	0,00%	0,01%	0,03%	0,00%	0,02%
	Passivação e Enxágue 5	0,01%	0,14%	0,05%	0,01%	0,02%
	Pintura KTL	1,85%	3,13%	1,29%	1,53%	0,20%
Usinagem	Ultrafiltrados	0,01%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%
	Usinagem 1	22,74%	17,41%	19,39%	14,11%	32,95%
	Usinagem 2	11,99%	9,29%	10,15%	8,76%	17,17%
	Usinagem 3	4,00%	3,10%	3,38%	2,92%	5,72%
	Lavação	0,07%	0,07%	0,41%	0,19%	2,11%
	Oleação	0,19%	0,13%	0,07%	0,04%	0,28%
	Embalagem	2,81%	1,98%	0,90%	1,47%	0,18%
Total		100%	100%	100%	100%	100%

Processos Elementares		Categorias de Impacto				
		Toxicidade Humana	Ecotoxicidade Água doce	Ecotoxicidade Marinha	Ecotoxicidade terrestre	Formação de Ozônio Fotoquímico
Fundição	Macharia	2,43%	0,76%	0,77%	0,70%	1,52%
	Moldagem	1,05%	0,68%	0,86%	1,69%	1,05%
	Fusão	69,19%	70,67%	68,15%	64,92%	73,55%
	Vazamento	0,02%	0,01%	0,02%	0,08%	0,03%
	Desmoldagem	1,57%	5,35%	2,65%	0,17%	0,11%
	Quebra de Canal	2,09%	7,22%	3,57%	0,12%	0,10%
	Acabamento	0,67%	0,51%	0,70%	1,73%	0,85%
Pintura	Desengraxe 1, 2 e 3	0,04%	0,05%	0,03%	0,67%	0,06%
	Enxágue 1 e 2	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,00%
	Refinador	0,03%	0,06%	0,05%	0,02%	0,02%
	Fosfatização	0,11%	0,14%	0,16%	0,12%	0,09%
	Enxágue III e IV	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,00%
	Passivação e Enxágue 5	0,02%	0,02%	0,03%	0,03%	0,05%
	Pintura KTL	1,47%	0,33%	0,24%	1,46%	0,89%
Usinagem	Ultrafiltrados	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	Usinagem 1	11,69%	7,67%	12,64%	14,48%	11,42%
	Usinagem 2	6,67%	4,28%	6,91%	10,01%	6,90%
	Usinagem 3	2,22%	1,43%	2,30%	3,34%	2,30%
	Lavação	0,11%	0,03%	0,04%	0,08%	0,07%
	Oleação	0,08%	0,05%	0,09%	0,04%	0,07%
	Embalagem	0,51%	0,70%	0,78%	0,32%	0,91%
Total		100%	100%	100%	100%	100%

### 5.4.3. Interpretações

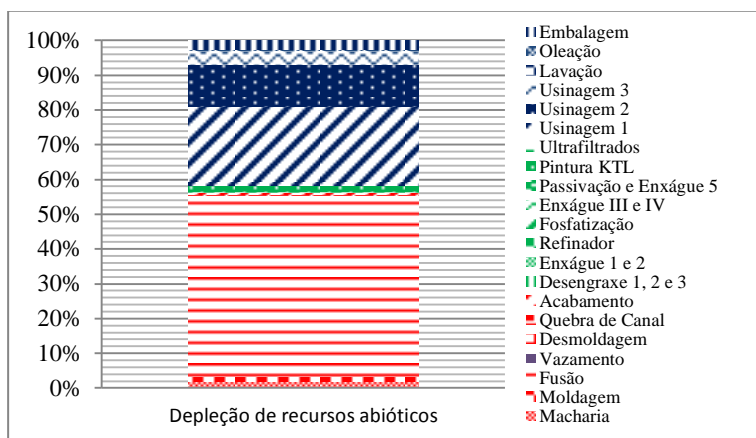
Neste item, os aspectos ambientais serão interpretados, com a apresentação dos gráficos individuais.

#### a) Depleção de Recursos Abióticos

Este indicador de categoria de impacto está relacionado com a extração de minerais e de combustíveis fósseis que entram no sistema. O padrão adotado pelos cientistas é o quilograma de antimônio equivalente: um metal de coloração branca azulada, de abreviação *Sb* na tabela periódica.

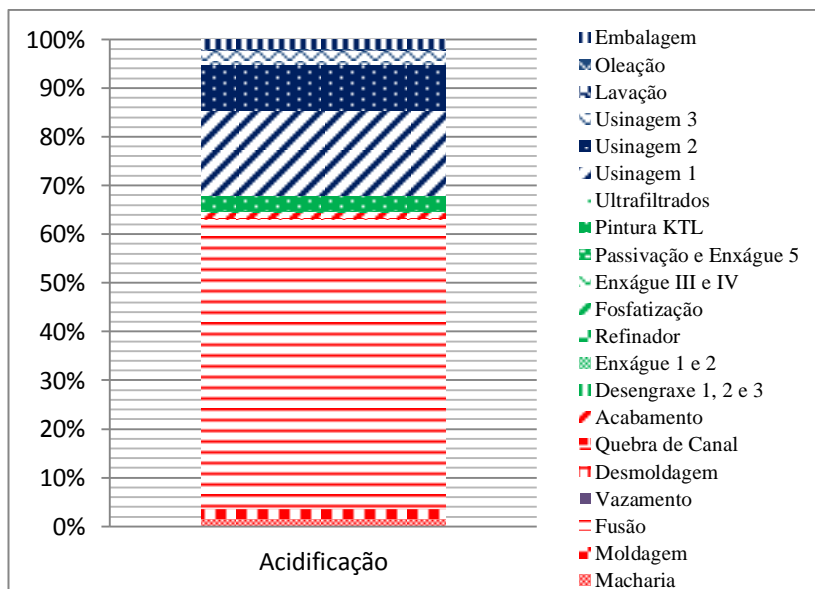
Encontramos na fusão a maior entrada de matéria prima, consequentemente, o maior percentual de contribuição: 52,07%. Dentro da fusão, o principal responsável é o processo de extração de ferro gusa (54,76%), seguido da energia elétrica utilizada na fundição dos metais (20,48%) e do transporte da matéria prima oriunda de Pitangui/MG até Joinville/SC (17,83%).

A usinagem 1 e 2 aparecem em segundo (22,74%) e terceiro lugar (11,99%) respectivamente, na hierarquia de contribuição para diminuição dos recursos naturais, principalmente devido à obtenção do fluido de corte. Destaca-se também a maior participação do processo embalagens, com 2,81%.



## b) Acidificação

Os poluentes acidificantes têm uma grande variedade de impactos no solo, água subterrânea, águas superficiais, organismos biológicos, ecossistemas e materiais. As substâncias que mais contribuem para a acidificação são o  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  e  $\text{NH}_x$ .



Nesta categoria o setor de fusão corresponde a 59,2% do impacto total do processo de produção da peça. Isto acontece porque é nesta etapa em que consideramos a entrada do ferro-gusa e sendo assim, todos os impactos carregados com esta matéria prima desde a sua extração. A extração representa 46,47% dos impactos da fusão, seguida pelo transporte da matéria prima, com 27,61%.

Observamos que a pintura apresenta uma contribuição pequena, contudo, a maior se comparado às outras categorias de impacto. A pintura KTL aparece com 3,13% de responsabilidade pelos valores absolutos de acidificação, devido à resina epóxi utilizada no processo.

A usinagem, no entanto, representa outra grande parcela, somando 31,98%.

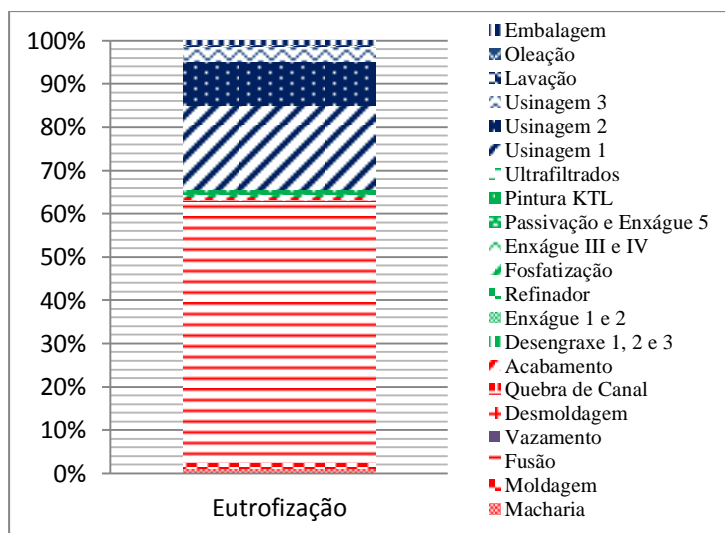
Este resultado chama a atenção, esperávamos uma participação maior da pintura. Simulamos no SimaPro as emissões atmosféricas da



cabine de pintura e nesta foi detectado  $\text{NO}_x$ , contudo, devido ao alto número de peças pintadas, os efeitos desta se dilui. A lógica predominou na participação da fusão, responsável pela emissão de 0,0002677 kg de  $\text{NO}_x$  por peça produzida.

### c) Eutrofização

Segundo HEIJUNGS<sup>22</sup> apud FERREIRA (2004), a eutrofização é o enriquecimento da água ou solo em nutrientes, nitrogênio (N) e fósforo (P), que podem causar uma indesejável mudança na composição de espécies nos ecossistemas e uma redução na diversidade ecológica. É expresso como quilogramas equivalentes de  $\text{PO}_4$ .



A fusão novamente representa a maior parcela de participação: 60,39%. A extração do ferro gusa está como principal contribuinte da fusão, com 54,20% seguido do transporte com 16,54%.

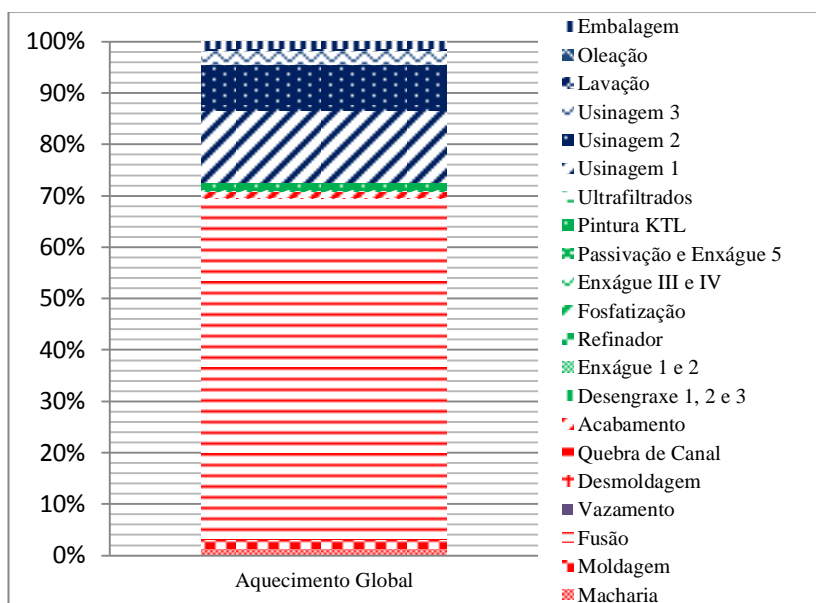
A parcela total de usinagem é de 34,30% restando apenas 1,71% para os processos da pintura. Nesta categoria, os processos “Enxágue” e

<sup>22</sup> Heijungs, R. Guinée, J. e Huppes, G. (1997). Impact Categories for Natural Resources and Land Use. Leiden, Netherlands: CML-Centre of Environmental Science, Leiden University.

“Refinador” apresentam sua maior contribuição dentre todas as categorias: 0,03% e 0,10% respectivamente.

#### d) Aquecimento Global

O *Global Warming Potential*<sup>23</sup> (GWP) de uma substância é a relação entre a contribuição para a absorção do calor de radiação resultante da descarga instantânea de 1 kg de um gás com efeito de estufa e igual emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) integrada ao longo do tempo.

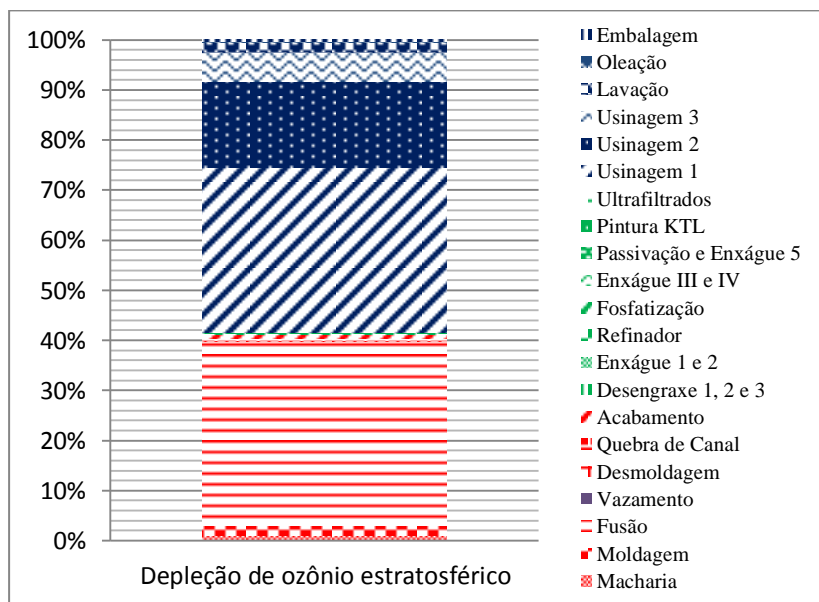


Está evidenciado que o processo de fundição é o grande responsável por este impacto, com 70,82% de contribuição, sendo 66,31% do processo de fusão. A totalidade de quilogramas equivalentes emitidos para atmosfera é de 30,36 por peça produzida.

#### e) Depleção de Ozônio estratosférico

<sup>23</sup> Potencial de Aquecimento Global, em português.

Semelhante ao potencial de aquecimento global, “a depleção de ozônio estratosférico utiliza o modelo de caracterização desenvolvido pela *World Meteorological Organisation*<sup>24</sup> (WMO) e define potenciais de depleção do ozono “*Ozone Depletion Potential*” (ODP) de diferentes gases em quilogramas equivalente de CFC-11” (FERREIRA, 2004)



Esta é a única categoria na qual a usinagem possui maioria, com 58,42% de participação. Dentre os processos elementares, a fusão continua como principal contribuinte, com 36,51%, seguido pela usinagem 1 com 32,95% e Usinagem 2 com 17,17%.

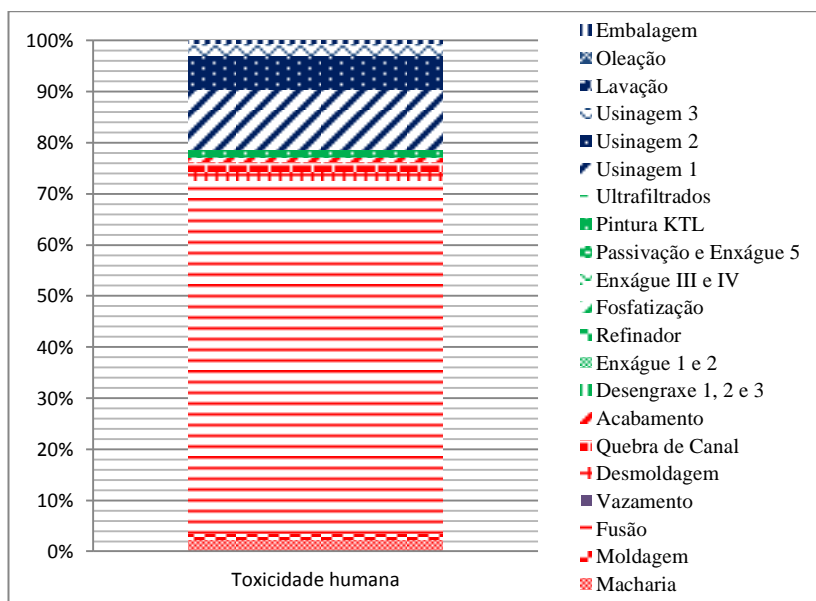
Nas duas Usinagens, a obtenção do fluido de corte contribui com cerca de 85%.

#### f) Toxicidade Humana

Esta categoria compreende o impacto na saúde humana das substâncias tóxicas presentes no ambiente. Calculado os HTPs (*Human Toxicity*

<sup>24</sup> Organização Meteorológica Mundial, em português.

*Potentials*<sup>25</sup>), convertidos e expressos como quilogramas equivalentes de 1,4 diclorobenzeno.



Nesta categoria, o setor de Macharia apresenta sua maior contribuição percentual dentre todas as categorias, com 2,43%. O setor de fusão aparece com 69,19%. A disposição da escória de alto forno contribui com 38,75% do impacto da fusão nesta categoria, acima da extração de matéria prima, com 29,77%.

#### g) Ecotoxicidade Água Doce

Semelhante à toxicidade humana, os fatores de caracterização são expressos como equivalentes 1,4 diclorobenzeno.

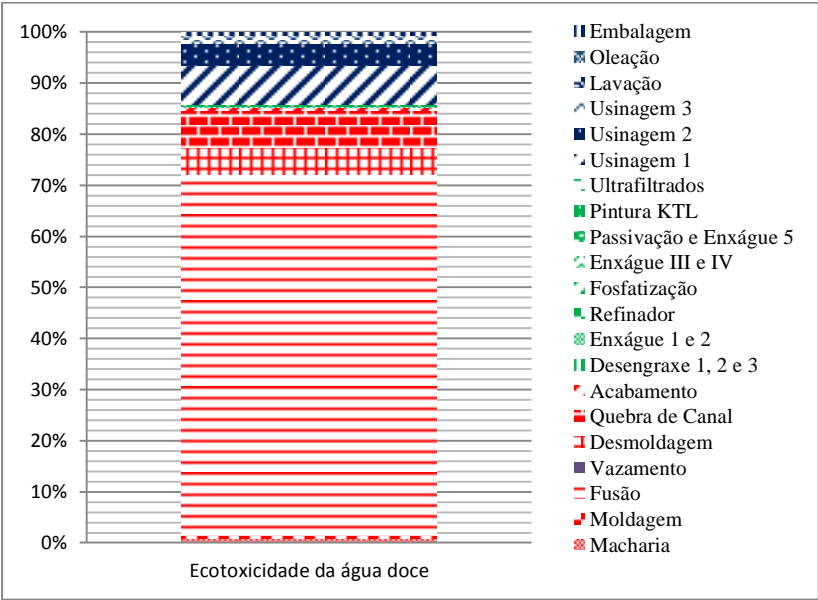
O macroprocesso *fundição* possui 85,20% de participação nesta categoria, seguido de 14,17% do setor de usinagem e apenas 0,63% do setor de pintura.

As áreas de desmoldagem e quebra de canal contribuem com 5,35% e 7,22%, a maior contribuição percentual se comparada às outras categorias. Praticamente 100% do impacto destas áreas estão relacionados à disposição

<sup>25</sup> Potencial de toxicidade humana, em português

final em aterro da areia de fundição oriundas destes processos.

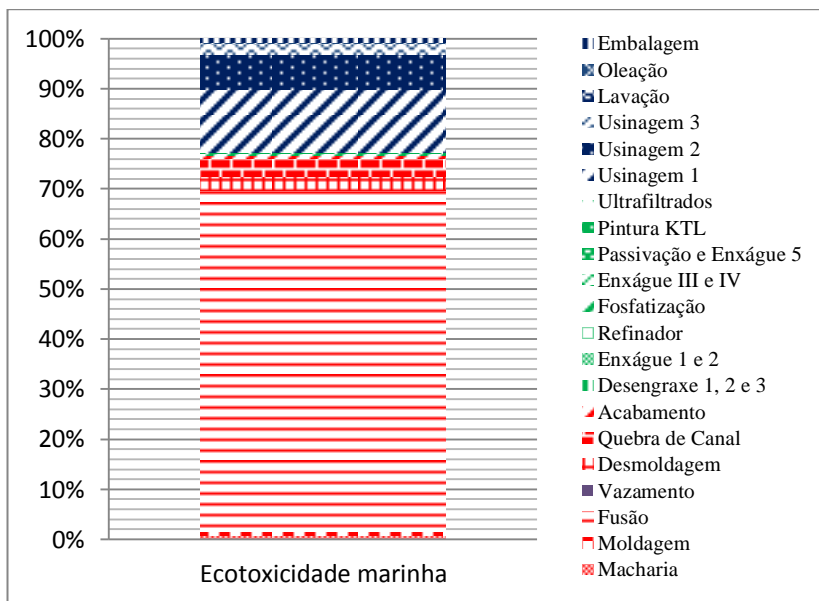
Em relação à fusão, 37,75% do impacto deste processo está ligado à extração de matéria-prima, 36,46% ao descarte de escória de alto forno e 10,98% devido à geração de energia para o processo.



#### h) Ecotoxicidade Marinha

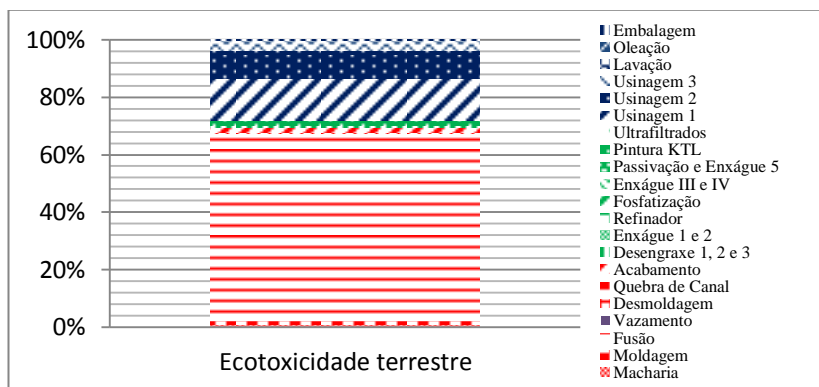
Dentre os processos elementares, novamente a fusão está como principal causador deste impacto, com 68,15%. É importante ressaltar que destes 68,15%, cerca de um quinto é proveniente da disposição da escória de alto forno. A quebra de canal contribui com 3,57%, referente à disposição da areia de fundição.

Na usinagem, o impacto continua atrelado à obtenção do fluido de corte. Por fim, este é um indicador em que a pintura apresenta sua segunda menor contribuição: 0,52%.



#### i) Ecotoxicidade Terrestre

Nó gráfico abaixo, podemos observar o mesmo padrão de impacto dos gráficos anteriores, onde a fusão (64,92%), a usinagem 1 (14,48%) e a usinagem 2 (10,01%) são os principais processos impactantes. Evidenciamos que os processos de vazamento (0,08%), acabamento (1,73%) e desengraxe (0,67%) apresentam sua máxima contribuição percentual dentre todas as categorias.

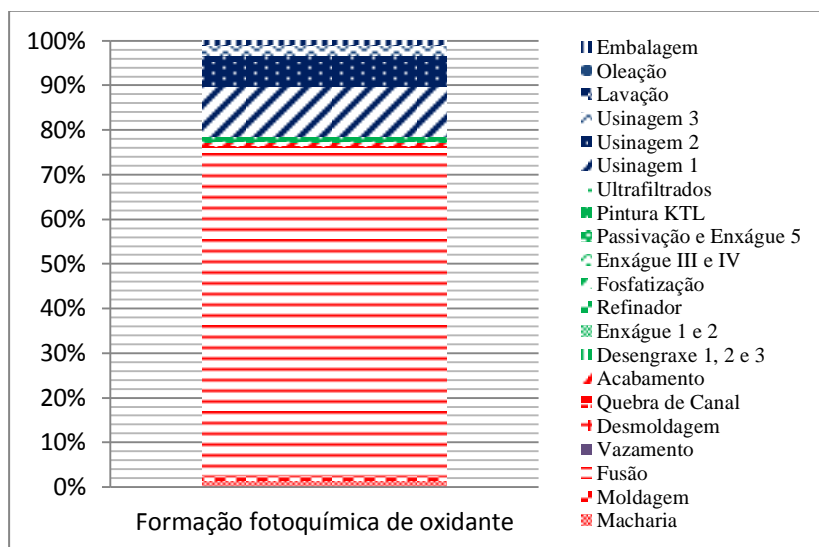


## j) Formação de Ozônio Fotoquímico

Segundo FERREIRA (2004), são calculados potenciais de criação de ozono fotoquímico “*Photochemical Ozone Creation Potential*” (POCP) para emissão de substâncias para o ar e expressos em kg equivalentes etileno/kg de emissão.

A formação de ozônio fotoquímico é um tipo de impacto que pode receber contribuições do monóxido de carbono (CO) e de todos os compostos orgânicos voláteis (COV) capazes de reagir com o radical hidroxila (OH) para formar radicais peróxido; que na presença de óxidos de nitrogênio (NOx) e luz ultravioleta (UV) podem induzir a formação de ozônio e outros compostos reativos na troposfera (Nichols et al., 1996 apud FERREIRA, 2004).

Para formação de ozônio fotoquímico, a fusão atinge o máximo percentual de participação: 73,55%. Deste percentual,  $\frac{1}{4}$  é devido à geração de energia para o processo.



## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Verificamos ao final desta avaliação do ciclo de vida que o principal responsável pelos impactos da produção da peça é a etapa de fusão, onde está incluso a extração de ferro gusa, obtenção da sucata de aço, transporte das matérias primas, geração de energia do forno e destinação final dos resíduos gerados.

A fusão, exceto na categoria depleção de ozônio estratosférico, representa no mínimo 50% de contribuição para os impactos, a média simples entre todas as categorias resulta em uma participação de 62,09%. Contudo, é interessante observar que nas categorias *depleção de recursos abióticos*, *acidificação*, *eutrofização*, *ecotoxicidade marinha* e *formação de ozônio fotoquímico*, a extração de ferro gusa é o grande responsável pelos impactos.

Nas categorias *aquecimento global* e *ecotoxicidade terrestre*, o processo de geração de energia elétrica para os fornos aparece como principal fator de impacto. Já na categoria *depleção de ozônio estratosférico*, o transporte é o principal contribuinte em impactos.

Por fim, *toxicidade humana* e *ecotoxicidade da água doce* têm como causador predominante a disposição dos resíduos da fusão, principalmente a escória de alto forno.

Caso a fronteira do estudo seja expandida, a tendência a partir deste momento é que não existam grandes extrações de matéria prima, portanto, outras contribuições como utilização de energia, combustível e disposição final irão crescer, modificando os gráficos.

A usinagem demonstrou grande participação nos impactos, ficando evidente a relação entre a o tempo de utilização da máquina e a quantidade de fluido de corte arrastado. Não podemos afirmar com certeza que esta regra se aplica a todas as máquinas, no entanto, na célula estudada isto ficou claro. Ressaltamos que o efluente fluido de corte não é tratado na empresa, então, o controle mais rigoroso das fontes deste efluente diminuiria não somente os impactos ambientais, mas também os custos de tratamento para a empresa. Como ponto de investigação para futuros estudos deixamos a sugestão de avaliar a eficiência das máquinas de usinagem e a diminuição dos impactos ambientais *versus* o custo de modernização das máquinas.

Ainda no campo de sugestões, o consumo de madeira se mostrou um grande entrave durante a coleta de dados deste ACV. Para agravar o cenário, o descarte de madeira é alto e a vida útil é desconhecida, com



grande variação. Estes elementos proporcionam um ótimo campo para pesquisa em resíduos, que também contribuirá para futuros ACVs.

Recomenda-se também a realização de uma simulação computacional utilizando o programa SimaPro e a mesma base de dados levantados neste estudo para criar cenários diversos de produção, modificando a tecnologia utilizada, o meio de transporte, a geração de energia, entre outros. Não foi possível executar cenários neste estudo devido à limitação de dados referentes a tecnologias de fundição e pintura.

Esperamos em breve realizar a expansão das fronteiras do estudo, buscando dados de utilização do cubo de roda e informações sobre a destinação final de peça produzida em Joinville.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ***NBR ISO 14040: Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura***. Rio de Janeiro: versão digital, 2009. 21p.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ***NBR ISO 14044: Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e Orientações***. Rio de Janeiro, versão digital, 2009. 46 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METAIS. **Fundição**. 9. ed. São Paulo: ABM, 1977.

BARBOSA JÚNIOR, A. F. **Conceitos e aplicações de Análise do Ciclo de Vida (ACV) no Brasil**. *Revista Gerenciais*, São Paulo, v. 7, n. 1, p. 39-44, 2008.

CAMPOS FILHO, Mauricio Prates de; DAVIES, Graeme John. **Solidificação e fundição de metais e suas ligas**. 1 ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1978. 246 p.

CARVALHO, Paulo Sergio Germano. **Estudo aplicado de ACV a sistema de Refrigeração por absorção e por compressão de vapor de amônia**. – São Paulo, 2010. 351 p.

CARVALHO, Paula Geandra Coutinho Aragão de. **Aplicação do Programa SimaPro na Avaliação do Impacto Ambiental causado na Produção e Exploração Offshore de Petróleo**. Projeto Final de Curso (Engenheira Química) - Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Rio de Janeiro, 2008. 63p.

CHEHEBE, J. R. B. **Análise do ciclo de vida de produtos**: ferramenta gerencial da ISO 14000. Rio de Janeiro: Qualitymark, CNI, 1997. 120 p.

CENTRO DE INFORMAÇÃO METAL MECÂNICA (Florianópolis) (Org.). **Material Didático**. Disponível em: [http://www.cimm.com.br/portal/material\\_didatico](http://www.cimm.com.br/portal/material_didatico) >. Acesso em: 18 out. 2011.

COLTRO, Leda. **Avaliação do ciclo de vida como instrumento de gestão**. Campinas: CETEA/ITAL, 2007. Disponível em: <<http://www.cetea.ital.sp.gov.br/figs> > Acesso em 08 de agosto de 2011.

DUARTE, Iberê Roberto. Sociesc – Sociedade Educacional de Santa Catarina. **Noções Básicas de Fundição para Colaboradores em Atividade**. Joinville: Escola Técnica Tupy / Schulz S.A., 2007. 116 p.

FERRARESI, Dino. **Usinagem dos metais**. São Paulo: E. Blucher, c1970. v.

FERREIRA, José Vicente Rodrigues. **Análise De Ciclo De Vida dos Produtos**. Instituto Politécnico de Viseu. 2004. Disponível em: <<http://www.estv.ipv.pt/>> Acesso em: 08 de agosto de 2011.

FERREIRA, Margarida Machado Boavida. **Avaliação de Ciclo de Vida de uma Central Hidroelétrica**. 2007. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia do Ambiente, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2007.

KONDIC, V.; MARIOTTO, Claudio Luiz. **Princípios metalúrgicos de fundição**. São Paulo: Polígono, 1973. 340 p.

LE MOS, H. M. **As normas ISO 14000**. Rio de Janeiro: Escola de Engenharia da UFRJ, 2004.

MANZINI, Ezio; VEZZOLI, Carlo. . **O Desenvolvimento de produtos sustentáveis**. São Paulo (SP): Editora da Universidade de São Paulo, 2008. 366p

PASSUELLO, Ana Carolina Badalotti. **Aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida em Embalagens Descartáveis para Frutas: Estudo de Caso** – Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2007.

POMBO, F. R.; MAGRINI, A. Panorama de aplicação da norma ISO 14001 no Brasil. **Revista Produção**. v.15, n.1, p.1-10, jan./abr. 2008.

RUNGE, Peter R. F.; DUARTE, Gilson N.. **Lubrificantes nas Indústrias**. São Paulo: Triboconcept Editora Técnica, 1989. 323 p.

SANDVIK DO BRASIL. **Manual técnico de usinagem**: torneamento, fresamento, furação, mandrilamento, sistemas de fixação. São Paulo Sandvik do Brasil, 2005. 1 v.(várias numerações)

SANTOS, L. J. C. S. **Avaliação do ciclo de vida e custeio do ciclo de vida de evaporadores para usinas de açúcar**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais. Tese (Doutorado). 2007. 225 p.

SOARES, Sebastião Roberto; SOUZA, Danielle Maia de; PEREIRA, Sibeli Warmling. **A avaliação do ciclo de vida no contexto da construção civil**. In: SATTLER, Miguel Aloysio; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay (Ed.). Coletânea HABITARE: Construção e Meio Ambiente. Porto Alegre: ANTAC, 2006. (Coleção Habitare, v. 7)

SOUSA, Sabrina Rodrigues. **Normalização De Critérios Ambientais Aplicados À Avaliação Do Ciclo De Vida**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, Dissertação, 2008. 87 p.

## **8. APÊNDICES**

### Apêndice I – Tabela de Coleta de Dados